This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

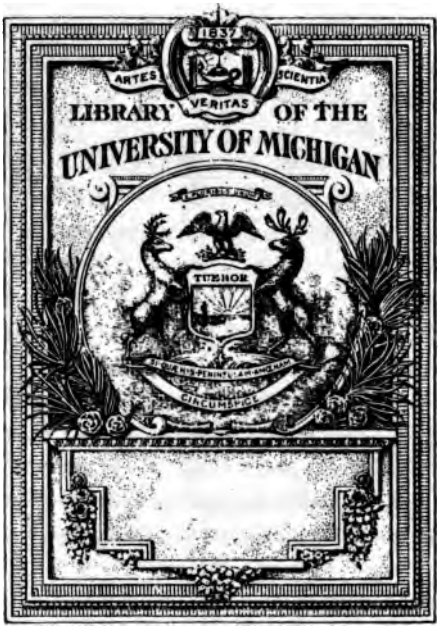
En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

TF
216
.L19

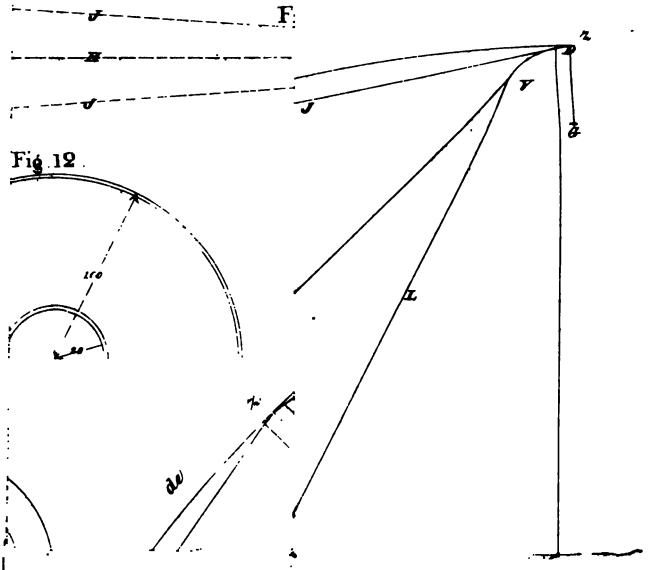
A 821,414

Boignet. Chemins de fer.

11
216
.L19


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR

sur les courbes des ch.



CHEMINS DE FER.

COURBES

A TRÈS PETIT RAYON.

(SYSTÈME LAIGNEL.)

PARIS,

CHEZ { LAIGNEL, rue Chanoinesse, n° 12;
Madame HUZARD, Imprimeur-Libraire, rue de l'Eperon, n° 7;
BACHELIER, Libraire, quai des Augustins, n° 55.

1835.

TF
216
L19

CHEMINS DE FER.

COURBES

A TRÈS PETIT RAYON.

(SYSTÈME LAIGNEL.)

L'industrie, les capitalistes et le gouvernement s'occupent, d'une manière particulière, de l'établissement des chemins de fer en France; des fonds ont été ordonnés par les Chambres pour faire des études et des essais comparatifs de tous les différens systèmes et perfectionnemens qui se rapportent à ce nouveau genre de communication; enfin des projets et des plans sont déjà présentés aux Chambres.

Il ne paraîtra pas alors hors de saison que j'appelle l'attention de ceux que cela intéresse sur une des principales difficultés qu'on rencontre dans les chemins de fer (tout changement de direction, comme les courbes et les points de rencontre), les premières ne pouvant être établies au dessous d'un rayon de 500 mètres, et les autres entraînant avec eux des dangers terribles suivant la vitesse, la charge et les dimensions des roues.

Je me propose à ce sujet, dans cet opuscule,

1°. De désigner les causes de l'impossibilité où l'on s'est trouvé jusqu'alors d'employer des courbes d'un petit rayon;

2°. De développer le système des changemens de direction ou points de rencontre, d'en faire voir le danger, danger que l'on peut très facilement éviter;

3°. De prouver, par des rapports et des faits, les tentatives et l'impossibilité de les éviter par les moyens employés maintenant,

338777

4°. De présenter un système nouveau de courbes à très petit rayon et de développer les principes qui lui servent de base ;

5°. De l'appuyer de preuves et de faits ;

6°. D'exposer les objections dont il est l'objet et prouver leur peu de fondement ;

7°. Enfin, d'indiquer les principaux avantages qu'il présente, tant à l'égard des chemins à construire que de ceux actuellement en pleine activité.

Afin de me rendre plus intelligible pour ceux qui ne connaissent pas cette nouvelle voie de communication, je donne ici une description sommaire d'un chemin de fer, ainsi que des roues qui lui appartiennent.

Ce chemin est composé de deux bandes en fer, qu'on appelle rails, dont la section présente généralement la forme d'un T, et parallèlement écartées d'un espace qu'on appelle voie. Dans les lignes droites ces rails sont de même longueur, et lorsqu'on veut changer de direction, on a recours alors à des courbes faites de deux parties de cercles ayant un rayon différent en longueur de toute la largeur de la voie ; conséquemment dans une circonférence entière, la différence de parcours entre les deux rails est de six fois la distance qui les sépare (1).

Les chariots sont montés sur deux essieux et quatre roues solidaires ou fixées chacune à leur essieu.

Ces roues ont des jantes coniques ou cylindriques, qui ont, à leur circonférence, un collet ou partie saillante d'un côté seulement, pour les maintenir forcément sur les rails et en dedans de la voie.

Leurs dimensions sont environ les suivantes :

Diamètre avec collet.	0m,80
Diamètre de la jante seule.	0 ,76
Hauteur du rebord	0 ,02
Différence des diamètres	0 ,04
Largeur de la voie	1 ,50

(1) Pour la facilité des calculs, je néglige les fractions.

Avant d'entrer en matière, je dois avertir que, très peu versé dans les sciences mathématiques, je me bornerai à ne présenter que des observations et des faits appuyés par la pratique, et j'espère alors être compris de tout le monde.

CHAPITRE I.

Désigner les causes de l'impossibilité où l'on s'est trouvé jusqu'à présent d'employer des courbes d'un petit rayon dans les chemins de fer.

Première cause. Dans une circonférence entière, dont toute courbe fait partie, son développement produit, entre les deux cercles qui la composent, une différence de six fois leur distance, soit de 9 mètres pour celle de $1^{m},50$ (1) : ainsi, il faut nécessairement que la roue qui roule sur le plus petit cercle fasse en moins ces 9 mètres ; mais ces roues marchant sur leurs jantes égales en diamètres, et étant solidaires avec leurs essieux, il s'ensuit que faisant autant de tours l'une que l'autre, celle du petit cercle doit glisser de toute cette différence (six fois la largeur de la voie), quels que soient les rayons de la courbe ou du cercle.

La largeur de la voie étant de. . . . . $1^{m},50$
Et le diamètre des jantes de. . . . . 0 ,76,

il en résulte que la différence de la marche progressive entre les deux roues solidaires doit être à raison de $0^{m},0015$ par mètre pour une courbe au rayon de 1,000 mètres, et ainsi des autres, en raison inverse des rayons.

Le tableau suivant donne exactement l'évaluation du glissement en recul qu'éprouve la roue du petit cercle, eu égard au rayon, par chaque mètre et par chaque tour de roue.

(1) Pour la facilité des calculs, je néglige les fractions.

Rayons.	Recul. Par mètre.	Par tour de roue.	
1,000	0,0015	0,0036	1/666
900	0,0016	0,0040	
800	0,0019	0,0045	
700	0,0021	0,0051	
600	0,0025	0,0060	
500	0,0030	0,0072	1/333 courbe de Saint-Etienne à Lyon.
400	0,0037	0,0090	
300	0,0050	0,0120	
200	0,0075	0,0180	
150	0,0100	0,0270	1/111 autre courbe de Saint-Etienne à Lyon.
100	0,0150	0,0360	1/66 courbe de Roanne à Andresieux.
70	0,0215	0,0515	1/46 courbe de Saint-Etienne à la Loire.
34	0,0420	0,1008	1/22 courbe des chariots du chemin d'essai dans les Champs-Elysées, sans glissement et sans toucher les roues latéralement, avec une vitesse de 22,000 à l'heure.
28	0,0535	0,1285	1/18 (1) courbe d'essai dans le chemin de la Loire.

Deuxième cause. Les chariots courant avec des roues d'égal diamètre, et tendant, par conséquent, à prendre et suivre toujours la ligne droite, sortiraient de la courbe qu'on veut leur faire parcourir, s'ils ne rencontraient pas continuellement un obstacle, par la présence du rebord du rail extérieur, dans la concavité duquel la roue du grand cercle est contrainte de marcher, en opérant sans cesse une action de sécante (*fig.* 1re).

On conçoit facilement quelle résistance un chariot doit éprouver en déviant du chemin droit ABCD (*fig.* 2e), qu'il tend à parcourir, pour prendre celui AECF. Il résulte de cette déviation forcée que le chariot G, ne cessant de conserver sa tendance à courir en ligne droite, arrivé en J, veut prendre la route N; de même au point K, et toujours ainsi, tant qu'il se trouve renfermé dans une partie de cercle.

Troisième cause. Dans le même temps, cette roue du grand cercle subit un frottement vertical considérable par sa rotation verticale entre la saillie et le rail.

Quatrième cause. C'est celle du glissement latéral. En effet,

(1) Ce glissement de 1/18 serait celui du système actuel, si toutefois il lui était possible de marcher dans une aussi petite courbe; ce glissement n'existe pas dans le nouveau procédé.

les chariots, par l'adhérence des roues aux essieux, ne peuvent bien marcher qu'en ligne droite, et ce n'est, comme nous venons de le dire, que par la résistance du rebord du rail extérieur, qu'on parvient à les détourner de leur route naturelle, ce qui fait aussi glisser les roues latéralement.

ABF (*fig.* 3ᵉ) est le chemin qu'un chariot peut parcourir sans recul ni glissement latéral de la part des roues; AC est la courbe qu'on le contraint de suivre, au moyen de la courbure du rebord du rail extérieur AEC; AD est le rayon de cette courbe, ayant en longueur les deux tiers de la courbe AEC, qui est un quart de circonférence : ainsi le glissement latéral est égal au rayon AD; et s'il s'agissait de la courbe AL, dont le rayon n'est que AK, le glissement latéral serait égal à son rayon AK.

La corde ALC de l'arc des courbes fait voir que ce glissement latéral est, pour les résistances, en raison inverse des rayons.

Ce ripement est un frottement de première espèce, et d'autant plus considérable que le rayon est plus petit, la vitesse plus grande, et qu'il est éprouvé par toutes les roues à la fois.

Cinquième cause. Elle provient de la hauteur des collets et de la grandeur des diamètres des roues; ainsi, par exemple, les roues des wagons, n'ayant en diamètre que $0^m,80$ et un collet de $0^m,02$, sont évidemment moins gênées, au passage des courbes, que celles des machines locomotives de $1^m,40$ à $1^m,50$ en diamètre, avec un collet de $0^m,03$, surtout avec la différence de distance entre les essieux de $1^m,10$ à $1^m,60$.

Par conséquent, dans toutes les courbes, les roues des chariots éprouvent, sans cesse et tout à la fois, en raison inverse des rayons, et suivant le diamètre des roues, la vitesse et la charge,

1°. *Recul* de la part des roues du petit cercle;

2°. *Frottement de sécante*, par la roue de l'avant-train, sur le cercle extérieur, capable de faire plier les rails (Minard, page 79, 1834);

3°. *Frottement vertical* de cette même roue, contre le rebord de son rail, par sa rotation verticale;

4°. *Ripement horizontal* des quatre roues par leur déviation latérale;

5°. *Effets* en rapport de la hauteur des collets et du diamètre des roues.

6°. Il faut remarquer encore que, passé ce rayon, les rails, qui ont environ 5 mètres de longueur, ne sont plus cambrés; il en résulte qu'à chaque jonction, il se forme un angle ouvert de deux degrés à un et demi, et par conséquent des chocs plus ou moins considérables, en raison de la vitesse, des diamètres des roues, etc.; ce qui cause, en outre d'un ralentissement de vitesse, une usure des rails et des roues, et par suite un déplacement latéral des rails.

Puisqu'un chariot, à roues d'égal diamètre, éprouve de tels frottemens, même dans une courbe de 500 mètres, il est constant que, dans une courbe de 30 à 40 mètres, ce chariot ne pourrait point avancer, quelque modérée que fût sa vitesse, et quelque puissant que fût son moteur; et, d'un autre côté, si l'on voulait réduire ces mêmes effets à leur minimum, on tomberait dans un grand excès de dépenses et d'augmentation de longueur de chemin, parce qu'on n'y parviendrait qu'en employant des courbes d'un rayon bien autrement considérable.

De là naissent de graves inconvéniens, tels que:

1°. La difficulté ou plutôt l'impossibilité d'éviter des obstacles de toute nature, comme montagnes, vallées, rivières, déblais, remblais, souterrains, voûtes, tranchées, passage sur des propriétés très chères;

2°. Obligation forcée de prolonger le parcours du chemin, et par conséquent augmenter les dépenses et le temps du parcours;

3°. Impossibilité d'établir des stationnemens et des embranchemens courts et faciles sans être obligé de passer sur plusieurs terrains dont les propriétaires exigent des prix hors de raison, parce que ces extensions sont en dehors de l'utilité publique;

4°. Les grands frottemens, les chocs, surtout dans les points de rencontre, brusques passages d'une direction à une autre, et qui exposent souvent la vie des voyageurs, si on ne ralentit pas la vitesse.

CHAPITRE II.

Ces changemens de direction, qu'on appelle encore points de rencontre ou turnout, sont encore plus funestes que les courbes ; car c'est dans ces brusques passages qu'il arrive souvent des malheurs, et que les voyageurs et les chariots sont toujours plus exposés aux dangers que partout ailleurs.

Dans les chemins à une seule voie, ce moyen est employé de 800 en 800 mètres, ce qui porte, par chaque chariot et chaque lieue, les dangers à dix fois pour l'entrée et la sortie (chemin de Barlington).

En effet, si l'on examine ces changemens de direction, on remarquera que ce sont des angles ouverts seulement de six dégrés environ, dont l'entrée et la sortie ne peuvent s'opérer qu'en éprouvant des chocs, des reculs, des ripemens considérables, pendant tout le temps que met chaque chariot à rentrer et à sortir entièrement de cette déviation.

1°. La roue extérieure de l'avant-train éprouve, tout à la fois, un choc contre son rebord, et un ripement latéral.

2°. Celle qui lui est solidaire essuie ce même ripement, et de plus un recul, puisqu'elle est forcée de faire un peu moins de route.

3°. La roue intérieure de l'arrière-train subit les mêmes effets que celle qui la précède.

4°. La quatrième, enfin, pivote sur elle-même.

Tous ces mouvemens augmentent encore suivant les dimensions des roues, leurs distances, la hauteur de leurs collets, la charge et la vitesse.

Il est facile maintenant de juger ce système et de se convaincre combien il est sujet à d'accidens et de sinistres ; et, si déjà des courbes au rayon de 2 à 300 mètres sont à rejeter comme déviation trop brusque, à plus forte raison ce mode de changement de direction doit-il être prohibé, pour la sécurité des voyageurs, puisqu'on peut le considérer comme une courbe dont le

rayon est toujours $0^{m},000$; et, suivant M. Minard, professeur à l'école des ponts et chaussées, dans ses leçons, 1834, page 79, « l'effet de la force centrifuge est très dangereux dans les » courbes : il ne se borne pas au *frottement du rebord qui dé-* » *grade les roues et les rails ;* si la *vitesse est très grande,* » ou le *rayon de courbure très petit,* les rebords peuvent monter » sur les rails du grand rayon, et rien ne s'opposant à la force » centrifuge, les wagons sortent de la voie, et même sont quel- » quefois renversés. » Que penser maintenant des changemens de direction ou déviation?

On doit d'autant plus les prohiber, qu'aujourd'hui il existe un moyen simple de tourner aussi court, sans encourir le moindre inconvénient et même sans éprouver de chocs.

Tout ce qui vient d'être développé est incontestable, c'est d'ailleurs prouvé par les travaux et les rapports des ingénieurs et constructeurs de chemins de fer déjà construits, qui en ont fait la malheureuse expérience, ainsi que nous allons le voir dans le chapitre suivant.

Les moyens employés aujourd'hui dans ces tournans sont très dispendieux ; et avec mon système, en outre de la facilité de les passer sans inconvéniens, on en réduit la dépense au quart, de manière qu'avec la même somme on peut les multiplier assez pour changer de voie à volonté.

CHAPITRE III.

Prouver, par les faits et l'expérience, l'impossibilité où l'on s'est trouvé d'éviter ces inconvéniens, et les moyens onéreux qu'on a employés.

C'est tout récemment que la pratique a fait connaître les graves et sinistres inconvéniens, en apparence insurmontables, des courbes à moyen et petit rayon dans les chemins de *fer.*

En effet, le chemin de Saint-Étienne à Andresieux, établi en 1825, fit d'abord entrevoir les difficultés provenant des courbes au rayon de 100 mètres.

En 1826, époque où fut commencé le chemin de fer voisin du précédent, allant de Saint-Étienne à Lyon, le temps n'avait pas encore montré toute l'étendue de ces difficultés; aussi, contrariés par les accidens du terrain, les ingénieurs annoncent-ils, dans leur rapport (1), que « le rail, en débouchant du pont de la » Mulotière, viendra gagner le quai de ce nom, par une courbe » de 100 mètres de rayon, pour éviter d'abattre un massif » de maisons; ce qui eût entraîné à de trop grandes dé- » penses. »

Ce projet fut plus tard reconnu ne pouvoir être mis à exécution. « La nécessité, dit à ce sujet M. Duleau (2), de développer » le chemin suivant des courbes d'un rayon de 500 mètres à la » suite du pont de la Mulotière, pour l'usage des machines à » vapeur, nous a forcés de passer en souterrain derrière le » faubourg de ce nom. »

En 1829, éclairés par l'expérience de leurs devanciers, les ingénieurs du chemin d'Andresieux à Roanne témoignent leurs regrets de ne pouvoir employer de grandes courbes. Ils disent (3) :

« Pour sortir du bassin, le tracé se résume par une courbe à » 200 mètres de rayon ; » ajoutant plus loin (4) :

« En raison du rétrécissement de la vallée et de sa forme acci- » dentée, cette partie du tracé n'a pu s'exécuter sans employer » un grand nombre de courbes, dont nous avons toutefois tâché » *d'augmenter le rayon le plus possible*; on y trouve trois courbes » d'un rayon de 200 mètres, et les autres sont toutes au » dessus. »

En 1832, malgré cette précaution d'augmenter la longueur

(1) Rapport des gérans à M. le directeur général des ponts et chaussées; 1826, pag. 9.

(2) Rapport des mêmes; 20 déc. 1829, pag. 14.

(3) Rapport de MM. Mellet frères et Henry au directeur général; 27 juin 1829, pag. 16.

(4) *Id.* des mêmes.

du rayon des courbes, les difficultés ne se firent pas moins sentir; car les commissaires de cette entreprise s'adressent ainsi à leurs actionnaires (1) :

« Nous avons de la peine à croire que MM. Mellet et Henry » aient commis des erreurs telles que de faire des courbes que » l'on ne puisse parcourir; du reste, il est inutile d'aller sur les » lieux pour examiner cette question; la courbe la moins éten- » due a 300 mètres de rayon : cette dimension est-elle suffisante? » voilà toute la question. »

Le problème de la possibilité ou de l'impossibilité d'employer des courbes de ce rayon de 300 mètres leur paraissait si peu résolu, que cette question est adressée, comme on vient de le voir, trois ans après que les ingénieurs du chemin de Saint-Étienne à Lyon eurent corrigé toutes leurs courbes, portées dès lors à 500 *mètres* de rayon comme minimum.

On lit, en effet, le passage suivant dans le rapport des gérans de cette dernière entreprise à l'assemblée d'octobre 1829, page 4 :

« Si l'on considère cette augmentation de dépenses sur les » acquisitions de terrains, et sur toutes celles qui ont été la » suite inévitable de la rectification du premier projet, présenté » à M. le directeur général, où des courbes de 500 mètres ont » été substituées à celles de 150 et même de 100 mètres, que » nous avions primitivement adoptées, on ne sera pas étonné » que les dépenses, que nous avions évaluées à 8,000,000 fr., » se soient élevées jusqu'à 10; le nombre des percemens, qui, à » cette époque, ne devait être que *de six*, s'est trouvé porté, par » la nouvelle rectification, *à quatorze*, formant une étendue de » 4,000 *mètres*, qui ont coûté plus de 1,800,000 *fr.*

» Un grand nombre de points qui dans le premier projet n'au- » raient présenté que peu de difficultés, tels que la montagne » de Saint-Lazare, les grands remblais d'Ysieux, etc., etc., etc., » sont tout à coup devenus de grands obstacles par les » sommes qu'ils ont coûté et le temps qu'il a fallu pour les » vaincre. »

Un peu plus tard, c'est à dire en décembre de la même année

(1) *Rapport des commissaires*; janv. 1832.

1829, les commissaires de cette même société signalent encore cet inconvénient dans le passage suivant :

« Dans cette division, le chemin est pratiqué dans des ter-» rains singulièrement escarpés et ravinés ; *la nécessité* de ne » pas faire de courbes au dessous de 500 *mètres* de rayon nous » a forcés de faire *des tranchées très profondes, des remblais* » *qui s'élèvent jusqu'à* 40 *pieds*, et *neuf souterrains*, qui ont » ensemble *près de* 1,800 *mètres*, et qui *sont voûtés pour la plus* » *grande partie.* »

Le même rapport des gérans, déjà cité, dénote encore quels efforts on a faits pour éviter l'emploi de petites courbes, car on y lit page 11 :

« Qu'un promontoire, qui se trouve à Pierre-Bénite, entraî-» nant un développement de courbes *d'un rayon trop petit*, a » nécessité de traverser deux propriétés closes de murs, au » moyen d'une tranchée de dix mètres de hauteur ; » (et, plus loin, page 17) : « L'impossibilité de se développer avec des cour-» bes d'un *assez grand rayon*, dans deux des points les plus » difficiles, *nous a forcés de percer le rocher sur une longueur* » *de* 250 *mètres, et de jeter à la suite deux ponts sur le* » *Ger.* »

Enfin le sieur Biot fils, l'un des gérans dudit chemin de Saint-Étienne à Lyon, dit, dans son Manuel du Constructeur du chemin de fer, page 97 (1834) :

« Le rayon de 500 *mètres* doit être considéré comme le *mini-*» *mum* auquel on doit descendre pour l'établissement des cour-» bes sur une ligne générale de circulation, encore faut-il dis-» poser son tracé de manière que ces courbes soient entremêlées » de lignes droites ; car, lorsque plusieurs courbes de 500 mètres » se suivent sans interruption, il se produit une augmentation » sensible de résistance. »

Ainsi il demeure constant qu'on admet comme une *nécessité* d'adopter des rayons d'au moins 500 mètres ; depuis on n'a pas tardé à reconnaître que ce rayon n'était pas même encore suffisant, et qu'il fallait le porter à 1,000 ou 1,200 mètres.

En dernière analyse, ce seraient donc ces derniers rayons que l'on considérerait aujourd'hui comme le minimum à donner aux courbes.

A l'appui encore des raisons qui doivent faire condamner les rayons au dessous de ces limites, je pourrais invoquer les témoignages des évènemens malheureux qui sont arrivés tant de fois dans ces passages, et dont les journaux du temps ont donné les détails.

CHAPITRE IV.

Présenter un nouveau système simple et facile fondé sur un principe incontestable propre à donner des courbes de très petits rayons, sans être sujet à tous les inconvéniens du système actuel.

Le principe sur lequel repose ce système est celui du cône couché et mis en mouvement.

Soit (*fig.* 5^e^) ce cône couché dont la base est A, le sommet B, et C un cercle intermédiaire.

Si l'on pousse ce cône par sa base, le cercle C fera autant de tours que cette base, mais ne parcourra que la moitié de l'espace, vu sa mi-distance du sommet B, qui, lui, ne fera que pivoter et rouler sur lui-même.

D'après cela, n'est-il pas vrai que si les deux parties de ce cône AC sont des roues fixées solidaires à un essieu AB d'un chariot, ces roues marcheront sans se déranger autour du sommet B, en faisant autant de tours l'une que l'autre, mais que la roue C, vu sa mi-distance du sommet, ne parcourra qu'une circonférence, moitié moindre que sa parallèle A, c'est à dire toujours moindre de six fois l'intervalle qui existe entre elles, quelle que soit la circonférence entière qu'elles aient à parcourir?

N'est-il pas vrai encore que si, au contraire, la roue C est égale en diamètre à celle A, et que ces deux roues soient de même fixées solidaires à l'essieu AB d'un chariot, que le cône n'existant plus, ces deux roues feront toujours autant de tours et autant de route l'une que l'autre, et se refuseront toujours à parcourir une circonférence, quelque développée que l'on

veuille se l'imaginer, qu'il faudra alors, par suite de cette disposition naturelle des roues, employer quelque moyen contrariant, pour forcer le chariot à marcher dans un cercle au lieu d'une ligne droite, et faire que la roue C, malgré l'égalité de diamètre, parcoure une circonférence entière moitié plus petite que celle de la roue A, ou en d'autres termes toujours proportionnelle à sa mi-distance du sommet, et différant, en parcours, de six fois l'intervalle qui existe entre elles deux, quelle que soit la circonférence entière qu'elles aient à parcourir?

Or, qu'on se représente, dans ce dernier cas, un cercle entier composé de deux bandes en fer d'un chemin de fer entre, et sur lesquelles ces deux roues AC soient obligées de marcher; ces roues, pour parcourir chacune leur circonférence particulière, n'éprouveront-elles pas, l'une et l'autre, tous les inconvéniens que je viens d'indiquer leur appartenir, et, dans l'autre cas, au contraire, ne jouiront-elles pas de toute l'aisance où elles se trouvent tout naturellement?

Ainsi, comme dans les lignes droites, où les rails qui forment la voie sont parallèles et *de même longueur*, il faut marcher avec des roues parallèles et d'*égal diamètre*, de même, dans les cercles où les rails qui forment aussi la voie, quoique parallèles, ne sont plus *de même longueur*, puisqu'ils appartiennent à des cercles concentriques de rayons différens, il faut, pour être en harmonie avec ces rails, que les roues solidaires des chariots marchent avec des *diamètres différens*, afin que l'une et l'autre parcourent dans le même temps le cercle ou partie de cercle qui lui est imposé.

D'après cette explication, il faut donc, de toute nécessité, que les voitures d'un chemin de fer aient des roues à volonté d'*égale ou d'inégale dimension*, pour se plier aux rencontres de lignes droites ou de courbes.

Les roues, telles qu'elles sont confectionnées maintenant, permettent de les utiliser suivant cette exigence (*deux diamètres différens*), sans y rien changer, qu'elles aient leurs jantes coniques ou cylindriques, puisque ces roues ont des collets ou saillies dépassant les jantes de quelques centimètres, et par conséquent donnant, au besoin, un plus grand diamètre.

Or si, au passage des courbes, on fait courir les roues du côté

du grand cercle extérieur sur leur collet, en continuant de faire porter celles du petit cercle intérieur sur leur jante, ne doit-il pas en résulter une différence de parcours entre elles?

De ce principe découle donc la conséquence, comme je viens de le développer, que, pour faire courir dans une courbe, il faut que les roues extérieures roulent sur leurs saillies, et les roues intérieures sur leurs jantes par continuation.

Pour obtenir cet effet, il convient seulement de changer la position du rail extérieur et de le mettre à plat au lieu de champ, de manière que la saillie de la roue de ce côté porte seule en élevant sa jante.

Et, pour déterminer le rayon de la courbe propre à ces roues, il faut prendre la différence des diamètres des roues entre la saillie, d'une part, et la jante de l'autre, eu égard à la ~~longueur~~ largeur de la voie.

Soient les dimensions suivantes :

Largeur de la voie	$1^m,50$
Diamètre de la saillie des roues. . .	0 ,80
Diamètre de la jante seule.	0 ,76
Différence des diamètres.	0 ,04

En résumant ces données, nous aurons

$$0^m,04 : 1,50 :: 0,80 : x = 30 \text{ mètres};$$

d'où le rayon extérieur du cercle sera de. . . . . 30^m

Ainsi la courbe convenable à ces roues et à cette voie sera décrite avec un rayon de 30 mètres pour le plus grand cercle, et cette courbe sera facilement parcourue par tous les chariots à deux roues.

Pour cet effet, il faut qu'au moment où le chariot quitte les rails droits, la roue du plus grand cercle (*fig.* 6^e) porte sur sa saillie C, et que l'autre, du plus petit cercle, roule sur sa jante D. Cette dernière continue sa marche sur son rail, et l'autre quitte le sien pour rouler sur une plate-bande; elle porte conséquemment sur son collet, ce qui leur fait parcourir dans le même temps les cercles qui leur sont imposés.

Aussi, qu'on veuille bien le remarquer, dans cette position :

le chariot à deux roues solidaires n'est autre chose qu'un cône tronqué, couché, et mis en mouvement. En effet, voyez *fig.* 6e, et les lignes proportionnelles qui donnent les détails suivans :

AA, Essieu.
BB, Roues.
CC, Saillies.
DD, Jantes.
E, Centre du rayon des deux courbes correspondantes aux roues.
FF, Courbe du plus grand diamètre.
GG, Courbe du plus petit diamètre.
EHH, Rayon de la petite courbe.
EHI, Rayon de la grande courbe.
EJJ', Lignes du cône passant par les points D'C.

Soient maintenant des roues de dimensions suivantes :

Diamètre de la saillie.	0 ,80
Diamètre de la jante.	0 ,75
Différence de diamètre.	0 ,05
Largeur de la voie.	1 ,50

Nous aurons :

$0^m,05 : 1,50 :: 0,80 : x = 24$ mètres. . . . . 24^m.

Si, au contraire, la différence n'était que de $0^m,02$.

Grand diamètre	0^m ,80
Petit diamètre.	0 ,78
Différence.	0 ,02
Largeur de la voie	1 ,50

En résumé, ce serait,

$0^m,02 : 1,50 :: 0,80 : x = 60$ mètres . . . 60^m.

Ce serait encore différent si la voie changeait et qu'elle ne fût que de $1^m,25$.

2

Nous aurions alors :

Grand diamètre	$0^m,80$
Petit diamètre	0 ,76
Différence de diamètre	0 ,04
Largeur de la voie	1 ,25

Et, en résumé,

$0^m,04 : 1,25 :: 0,80 : x = 25$ mètres ; ci. . . 25^m.

Ainsi nul doute que, par ce nouveau mode, on ne puisse faire parcourir aux chariots des courbes suivant ces rayons ou tout autre.

Fig. 6e. Cette *fig.* 6e démontre de plus que la roue extérieure, portant, par sa saillie C, sur le rail du grand cercle F, et la roue intérieure, roulant, par sa jante D, sur le rail du petit cercle G, feront autant de tours l'une que l'autre, mais une route inégale suivant la différence des diamètres C et D, en harmonie avec la différence des rayons EHI et EHH.

Ces principes et ces démonstrations sont incontestables, et particulièrement applicables à des chariots à un seul essieu, parce qu'alors le cône est unique, et qu'il détermine le rayon qui lui est spécial.

Mais il n'en peut être absolument de même pour les chariots à deux essieux parallèles, et par conséquent deux cônes, qui exigent une modification très importante.

Dans les chariots à un seul essieu, celui-ci est toujours normal à sa courbe, et par conséquent jouit toujours d'une tendance toute naturelle et uniforme à s'y maintenir et à tourner sur un point de centre qui est fonction de la différence des diamètres des roues et de l'espace compris entre les deux points d'appui.

Et dans les chariots à deux essieux, en usage dans les chemins de fer, ces deux essieux forment deux cônes ; chacun d'eux ne peut plus être normal à sa courbe sans que l'autre ne soit contrarié, et dans une position inadmissible : il y a donc d'autres conditions auxquelles ces chariots sont soumis. Les principales sont :

1°. *Le parallélisme* des essieux ;

2°. Leur parfaite perpendicularité à la longueur du chariot ;

3°. La distance entre eux ;

4°. L'emploi conjointement de grandes et petites roues ;

5°. L'influence de la charge.

Cinq conditions très importantes et sérieuses qui, jusqu'à présent, n'ont été considérées ni étudiées.

Toutes ces conditions viennent augmenter les difficultés du mode actuel dans le parcours des courbes ; et par le système nouveau, chacune d'elles, au contraire, est vaincue l'une par l'autre, et elles coopèrent presque toutes à la facilité de courir dans des courbes d'un rayon extrêmement petit : c'est ce que je vais tâcher de prouver en les passant toutes en revue.

Première condition. Le parallélisme des essieux veut que les chariots soient dans la position invariable, et telle qu'ils puissent tourner indifféremment d'un côté ou d'un autre.

Deuxième condition. Leur perpendicularité sert à faire parcourir aux chariots les courbes avec la même régularité en allant comme en revenant ; car, en l'absence de cette condition, les chariots dont les essieux seraient obliques à la longueur du chariot, comme le représente la *fig.* 4°, au lieu de parcourir en allant la courbe A, au rayon qui lui est propre, parcourraient, s'il n'y avait pas de rebord au rail, celle B, d'un rayon un peu plus petit, et, en revenant, la courbe C, d'un rayon, au contraire, plus grand, et cela quelque parfait que fût le parallélisme des essieux ; et *vice versâ*.

Et il faut bien observer encore que ces deux conditions de parallélisme et de perpendicularité des essieux sont indispensables, non seulement dans les courbes, mais encore dans les lignes droites ; car le moindre écart d'une des deux causes, et principalement de la perpendicularité, cause un frottement pendant toute la route, par chaque chariot, entre les rails et les collets des roues, principalement dans la ligne droite, à cause de sa longueur.

Troisième condition. La distance entre les essieux exige un prolongement de rayon en rapport avec cette distance, et cela est facile à comprendre.

En effet, un chariot avec un seul essieu et deux roues, de différent diamètre, nous représente un cône qui tourne sur son

sommet le centre de sa révolution, et dont il ne peut ni ne doit s'écarter ; car alors il ne décrirait pas un cercle parfait.

Si l'on lui adjoint parallèlement un autre essieu et deux roues, c'est un second cône qui, de même que le premier, ne devrait opérer sa marche qu'en tournant aussi sur son point de centre ou sommet, pour décrire pareillement un autre cercle parfait et distinct : mais alors ces deux sommets étant forcés de garder un écartement égal dans toute la longueur de leur axe, les roues ne peuvent plus opérer leur rotation suivant leur condition respective, ou, comme si chacun d'eux pouvait marcher isolément, c'est à dire autour de son sommet particulier, et par suite de ce parallélisme, ne pouvant se rapprocher mutuellement pour le rendre convergent, ils se trouvent contraints de le promener avec eux, en formant un nouveau cercle plus ou moins grand en raison de la distance des essieux, et c'est alors le centre de ce nouveau cercle qui leur devient commun.

Ce dernier, étant plus éloigné de leur base que celui *indivis*, *exige de toute nécessité* que le rayon premier soit *prolongé de toute cette différence.*

C'est une démonstration que chacun pourra obtenir en faisant courir sur une plate-forme un chariot à deux essieux parfaitement parallèles et perpendiculaires à sa longueur, dont les roues aient un diamètre différent, et en prolongeant les essieux ou axes des cônes, dans toute la longueur que ceux-ci comporteraient.

Pour obtenir ce rayon, il faut ajouter au calcul qui donne le rayon d'un seul essieu celui nécessité par la distance des essieux, d'où j'aurai à considérer deux rayons : celui qui se rapporte à un seul essieu ou cône ; et celui obligé par la réunion des deux essieux ou cônes.

J'ai développé la théorie du premier, je vais m'en aider pour arriver à celle du second.

Mais pour éviter la confusion, j'appellerai

Le premier, *rayon simple ;*

Le second, *rayon composé.*

Des essais vérifiés et confirmés par de nombreuses expériences dans le cabinet et sur le terrain m'ont conduit à trouver que ce rayon composé n'était autre chose que le produit du rayon simple, *multiplié d'abord* par la différence des diamètres, puis ce

produit par dix fois la distance des essieux, le tout augmenté du rayon simple lui-même et de la largeur de la voie. Cette dernière condition m'a encore été révélée par la pratique.

En voici l'application :

Rayon simple (page 16), 30 mètres ; ci.		30m
La différence au diamètre étant de. .	0,04	
La distance des essieux de.	1,00	
30m × 0,04 × 1 × 10 = 12 mètres ; ci. . .		12
Qui, ajoutés au rayon simple.		30
Donnent pour rayon composé.		42m

Ou bien, rayon simple (pag. 17) :

Rayon simple.	24,00	
Différence des diamètres.	0,05	
Distance des essieux.	1,30	

Nous aurons :

24m × 0,05 × 1,30 × 10 = 15,60 ; ci. . .	15,60
Qui, ajoutés à la valeur du rayon simple. . .	24,00
Donnent pour rayon composé 39,60 ; ci. . .	39,60

Ces longueurs de rayons, aidées (comme nous venons de le dire) de la largeur de la voie, serviront à tracer le cercle extérieur de la courbe, et le cercle intérieur le sera par le rayon composé seulement.

C'est ainsi qu'est établi mon spécimen de chemin de fer dans les Champs-Élysées par un cercle entier au rayon composé de 35m,50 pour le grand cercle, lorsque le rayon simple n'est que de 24m,56.

Voici les détails qu'il présente daus sa construction :

Intervalle entre les deux roues parallèles. . .		1,50
A quoi il faut ajouter :		
1°. L'épaisseur du collet de la roue.		0,02
2°. L'écartement du point d'appui de la jante, à cause de sa gorge intérieure.		0,01
Largeur réelle de la voie.		1,53
Largeur de la voie.	1,530	
Diamètre des roues avec collet. . .	0,626	

Petit diamètre de la jante.	0,587
Différence des diamètres.	0,039
Distance des essieux.	0,984

Nous aurons,

1°. Pour rayon simple,

$$0^{m},039 : 1,53 :: 0,626 : x = 24^{m},56 ;$$

2°. Pour rayon composé,

$24,56 \times 0,039 \times 0,984 \times 10 =$	9,42
Qui, ajoutés au rayon simple.	24,56
Et augmentés de la largeur de la voie. . . .	1,53
Donneront pour former le rayon composé. .	35,51

Les choses ainsi disposées, il résulte facilité et sûreté dans la course des chariots au passage des courbes, quels que soient leur nombre, leur charge et leur vélocité; et quoique la plate-bande qui remplace le rail extérieur soit sans rebord, ils ne peuvent sortir de la voie que par des causes accidentelles, indépendantes entièrement du système.

Des expériences faites publiquement, avec des vitesses de quatre à six lieues à l'heure (les chevaux n'ayant pu aller plus vite), ont prouvé ces faits et ces conditions; et ce qui peut paraître encore plus étonnant, c'est qu'avec cette vitesse les roues ne touchaient pas non plus les rails intérieurs latéralement (fig. 8). Ces expériences, cependant, ont été répétées avec cinq, sept et neuf chariots à la suite les uns des autres, avec une charge de cinq à neuf mille kilogrammes, en présence d'une commission des ponts et chaussées, du comité des arts mécaniques de la Société d'encouragement et de beaucoup d'autres savans ingénieurs et connaisseurs.

Le chemin et les chariots, d'ailleurs, subsistent encore dans le même état, pour renouveler les expériences, si besoin arrive.

A cette occasion, je citerai un fait plus surprenant encore, c'est que, plusieurs fois, sur cette quantité de chariots attachés à la file, *deux* seulement sur *huit* étaient chargés de plus de *deux tonnes* chacun, le *premier* et le *dernier*, les autres vides

entièrement. Dans cette conjoncture, les deux extrémités devaient faire roidir la chaîne de ces chariots comme une corde tirée par les deux bouts, de manière à serrer fortement les chariots vides contre le rail intérieur, et tellement, que le frottement aurait dû détruire la vitesse, ou du moins beaucoup la diminuer.

C'est, sans doute, pour en *constater l'impossibilité* que la commission des ponts et chaussées, appelée à faire des expériences sur mon chemin de fer, s'est obstinée à les faire toutes de cette manière, sans vouloir diviser la charge, ni même charger un chariot du milieu, pour rompre cette roideur et diminuer la tension causée par la charge des deux extrémités ; néanmoins, il n'y a eu ni déviation ni frottement latéral contre le rail intérieur, nonobstant le passage de plus de seize roues sur un parcours estimé de trois à quatre lieues, par suite de la quantité de tours sur le même cercle au rayon de trente-cinq mètres.

Tous ces faits ont été recueillis et constatés par le comité des arts mécaniques de la Société d'encouragement pour la vitesse de cinq lieues et demie à l'heure.

Nonobstant cette vitesse, cette chaîne de chariot sortait et rentrait tour à tour dans les lignes droites et courbes sans se déranger aucunement de la voie, et sans toucher latéralement aucun des rails.

Lorsque je parle d'employer une plate-bande sans rebord, je ne prétends pas dire pour cela qu'il faille la supprimer dans la pratique, bien au contraire, la prudence exige qu'il y en ait un, comme il existe un parapet aux trottoirs des quais, afin d'éviter tout inconvénient indépendant du système ; ce n'est que dans les expériences que je m'en suis passé pour démontrer que ce rebord ne contribue pas à maintenir les chariots dans la voie.

La loi imposée par la distance des essieux m'a conduit tout naturellement à une nouvelle et intéressante solution de problème, pour la communication de tous les chemins de fer entre eux, et quoique ce soit la différence des diamètres des roues qui détermine et fixe les rayons des courbes, on peut disposer les chariots de manière à courir dans des courbes dont le rayon soit unique et commun, en admettant pour base que tous ces chemins auront aussi une seule largeur de voie, *ou à peu près*. (Je souligne ces derniers mots, parce que, page 28, je développe cette *dernière circonstance* dans les courbes.

En effet, puisque la différence des diamètres contribue à déterminer le rayon simple, et que la distance entre les essieux en change la proportion, en exigeant une augmentation de longueur de rayon pour le rendre composé, il en résulte qu'en éloignant ou rapprochant ces essieux on obtient autant de rayons différens en longueurs, formant alors des courbes différentes, et partant de ce principe, on peut en établir d'un rayon unique et commun à tous les chariots, quelles que soient la différence des diamètres de leurs roues et la hauteur des collets, et par ce moyen obvier à l'apparente impossibilité de faire courir, par exemple, sur un chemin dont les chariots exigeraient un rayon composé de 42 mètres (page 21), d'autres chariots qui auraient un rayon composé de 39^{m},60 (même page).

Nous avons vu, page susdite, que la première conversion d'un rayon simple de 30 mètres en celui composé de 42^{m} est ordonnée par le mètre de distance entre les essieux, et que la deuxième conversion d'un rayon simple de 24 mètres en celui composé de 39^{m},60 est l'effet de la distance entre les essieux de 1^{m}30 : alors il faut, pour obtenir ce rayon commun entre les deux espèces de chariots,

Ou rapprocher les essieux des premiers chariots, pour se conformer au rayon des derniers,

Ou éloigner ceux des seconds, pour atteindre les premiers,

Ou encore, rapprocher un peu les premiers et éloigner un peu les derniers, pour les mettre d'accord.

Ce sont opérations faciles et peu dispendieuses.

Première solution. Rapprocher les essieux des premiers chariots.

Il suffira de les distancer seulement de 0^{m},80.

Rayon simple.	30^{m},00
Différence des diamètres.	0 ,04
Distance des essieux.	0 ,80

Nous trouverons

30^{m} × 0, 04, × 0, 80 × 10 = ...	9^{m},60
qui, ajoutés au rayon simple de.	30 ,00
donnent pour rayon composé.	39^{m},60

égal à celui des seconds chariots.

Deuxième solution. Éloigner ceux des seconds chariots.

Il faudra alors que les essieux soient distans entre eux de $1^m,50$.

Rayon simple.	$24^m,00$
Différence de diamétre.	0 ,05
Distance des essieux.	1 ,50

$24 \times 0,05 \times 1,50 \times 10 =$. 18

qui, ajoutés au rayon simple de. 24

donnent. . . . . 42 mètres

pour rayon composé, égal à celui des premiers chariots.

Troisième solution. Rapprocher les essieux des premiers chariots et éloigner ceux des derniers.

Il faut alors que les premiers n'aient qu'une distance de $0^m 90$.

Ainsi $30^m \times 0,04 \times 0,90 \times 10 =$. . . . $10^m,80$

qui, ajoutés audit rayon simple de . . . . . 30 ,00

donnent pour rayon composé celui . . . . . $40^m,80$

Et les derniers auront une distance de . . . . $1^m,40$

Ainsi, $24 \times 0,05 \times 1,40 \times 10 =$. . . . 16 ,80

qui, ajoutés au rayon simple de 24

donnent également le rayon composé de . . . $40^m,80$

égal à celui ci-dessus.

A chacun de ces résultats n'oublions pas qu'il convient d'ajouter la largeur de la voie pour tracer la courbe extérieure, ainsi que nous l'avons établi (page 21).

De cette manière d'opérer, on conçoit facilement la possibilité de former, pour tous les chemins de fer, une courbe commune avec un rayon unique, même dans les chemins déjà construits.

J'ajouterai que, pour ceux à construire, ce sera encore plus facile d'obtenir une courbe commune, parce qu'on aura soin de mettre plus d'un mètre de distance entre les essieux des wagons et d'augmenter la hauteur du collet des roues dans les machines locomotives.

Quatrième condition. Grandes et petites roues sur la même voiture.

D'abord, il faut, de toute nécessité, pour que les chariots ne

clochent pas, que le collet des petites roues soit parfaitement égal en hauteur à celui des grandes roues, quoique leur diamètre soit beaucoup plus petit.

Il est sensible que le rayon de courbes exigé par chacun de ces essieux doit être bien différent; cependant il faut aussi leur en trouver un qui soit commun.

C'est en suivant les mêmes principes et erremens que pour les rayons simple et composé. Ainsi admettant :

1°. Un train monté sur deux petites roues ainsi construites :

Diamètre avec la saillie.	$0^m,40$
Diamètre de la jante.	0 ,36
Différence des diamètres	0 ,04
Largeur de la voie.	1 ,50

Nous aurons :

0,04 : 1, 50 :: 0, 40 : 15 mètres pour rayon simple ; ensuite, avec la distance des essieux de 1^m,

$15 \times 0,04 \times 1^m \times 10 =$.	6^m
qui, ajoutés audit rayon simple. . .	15
donnent pour rayon composé	21^m

2°. Un second train monté sur deux grandes roues.

Diamètre avec la saillie.	$0^m,80$
Diamètre de la jante.	0 ,76
Différence des diamètres.	0 ,04
Largeur de la voie.	1 ,50

Nous aurons :

0,04 : 1,50 :: 0, 80 : 30^m pour rayon simple.

Nous aurons encore, par suite de la distance des essieux, 1 mètre.

$30^m \times 0,04 \times 1 \times 10$.	12^m
qui, ajoutés au rayon simple de . . .	30
donnent pour rayon composé.	42^m
Ensemble	63
dont la moyenne sera de	31,50

Pour que cette machine locomotive puisse aussi courir sur le rayon composé de 42^{m} désigné ci-avant, il suffira alors de porter la distance entre les essieux, 2^{m}17, au lieu d'un mètre, ce qui donnera, pour le premier rayon,

$15 \times 0,04 \times 2,17 \times 10 = \ldots\ldots\ldots$ 28^{m},02

et pour le second

$30 \times 0,04 \times 2,17 \times 10 = \ldots\ldots\ldots$ 56 ,04

Ci-contre. . . . . 84^{m},06

Ensemble, dont la moyenne sera de 42^{m},03.

Cette moyenne n'est pas seulement l'effet du calcul et de la théorie, mais bien encore celui de l'expérience.

Cinquième condition. Influence de la charge.

Tous les précédens développemens et calculs supposent, ce qui est ordinairement, que la charge de chaque chariot est également ou à peu près également répartie; dans ce cas, son influence est égale partout.

C'est à l'expérience encore que je dois la découverte de toute l'importance et des effets qu'on peut tirer de la manière avec laquelle on peut charger les chariots; car l'influence de la charge est telle, qu'en la combinant bien on parvient non seulement à obtenir une force centripète, mais encore à faire parcourir aux chariots ayant deux essieux des courbes jusqu'à atteindre le rayon simple, c'est à dire comme s'il n'y avait qu'un seul essieu, quelles que soient les exigences des distances des essieux, etc.

Cette découverte est bien utile, surtout par rapport aux machines locomotives, puisque, par ce moyen et sans changer la distance des essieux, on arrive à réduire la longueur du rayon composé de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, etc., ce qui permet de les mettre en harmonie avec les chariots ordinaires.

Ainsi, en portant la charge plus sur l'essieu de devant, les chariots acquièrent une tendance à se rapprocher du rayon qui lui est particulier; et plus cette charge est considérable, comparativement sur cet essieu, plus cette tendance et son effet sont puissans.

La charge portant plus sur un essieu que sur l'autre, les

roues de cet essieu sont plus pressées, et, influencées par elle, elles subissent alors davantage la loi d'un seul cône; tandis que les autres, éprouvant moins de pression, ont conséquemment plus de dispositions à glisser et à se prêter à l'exigence des premières.

La charge donc peut être employée comme auxiliaire pour diminuer la trop grande distance nécessaire des essieux. Dans les machines locomotives, cependant, il ne serait pas très facile de changer la charge à chaque voyage; pour suppléer à cette difficulté, il faudrait avoir des coussinets construits ainsi, *fig.* 13e.

Ces coussinets auraient d'ouverture 0,20 à 0,30, en outre du diamètre de l'essieu, de manière qu'il suffirait de pousser d'un côté ou d'autre la voiture portant l'appareil, pour que les essieux se portassent, l'un, plus près du centre de la charge de 0,10 à 0,15, et l'autre plus loin de ce même point; ce qui ferait une différence de 0,20 à 0,30 pour l'influence de la charge à l'égard de chacun des essieux.

Ce déplacement se ferait facilement, puisque les essieux feraient eux-mêmes fonction de cylindres, que le mouvement d'un côté ou d'autre fixerait convenablement.

En outre, on peut encore y parvenir par le secours d'une charge utile supplémentaire, comme charbons, etc., déposée sur l'avant du chariot ou de la machine locomotive.

Ce surcroît de charge sur l'avant du chariot ferait éviter bien des chocs et des évènemens sérieux; il est d'une ressource importante, puisque, avec cet auxiliaire, on pourrait encore parcourir des chemins dont les courbes seraient d'un rayon un peu plus petit (page 24).

En développant tous ces moyens, dont l'efficacité en pratique est incontestable, je n'ai envisagé, pour ainsi dire, que les équipages qui sont déjà en activité, pour obtenir des machines locomotives une diminution dans la longueur de leur rayon composé, propre à approcher de celui des wagons, dont la grande quantité causerait trop de frais, si on voulait changer de place les essieux.

Mais le plus simple de tous les moyens, et sans doute le plus *économique*, serait encore de changer les grandes roues des ma-

chines locomotives, qui n'ont que $0^{m},06$ de rebord, pour en employer d'autres un peu moins grandes et d'un rebord plus considérable.

La grande distance des essieux et le rebord plus haut ne sont admissibles qu'avec le système des roues à différens diamètres, et sont, au contraire, très nuisibles dans le système actuel.

Ainsi, d'après cet exposé, on voit qu'il est facile d'établir aujourd'hui des courbes à très petit rayon, ainsi que de les faire parcourir par des chariots de diverses dimensions, et par là d'éviter les grands et innombrables désavantages que le système actuel des roues d'égal diamètre entraîne avec lui.

Cependant, dans l'intérêt de la vérité, je dois dire que tous les frottemens ne sont pas entièrement évités, mais seulement réduits en très grande partie. Ainsi, par exemple, dans le système actuel, il s'opère deux résistances bien prononcées dans le passage des courbes :

1°. Celle entre les coussinets du chariot et les collets des essieux ;

2°. Celle bien plus considérable, entre le bout du levier (le collet de la circonférence des roues) et les rails, d'autant plus qu'elle réunit deux frottemens, celui horizontal contre le rail que la roue cherche à franchir, et celui du collet par sa rotation verticale, qui augmente en raison de sa hauteur.

Dans le système proposé, il n'y a plus que la première résistance, avantage immense, selon moi, puisqu'il réduit le frottement au diamètre de l'essieu contre son coussinet, frottement qui n'augmente pas avec la vitesse, comme dans le mode actuel.

Dans ce système comme dans l'ancien, il ne faut pas donner aux essieux, dans le sens de leur longueur, du jeu entre leurs coussinets, car il arriverait qu'ils useraient de cette latitude, quelque grande qu'elle fût, mais dans un sens opposé au but désiré. Ainsi la roue de l'essieu de l'avant-train s'éloignerait du rail intérieur, tandis que celle de l'arrière-train s'en approcherait, et de cette manière les chariots tendraient à parcourir une courbe d'un rayon d'autant plus grand, que le jeu des essieux le serait lui-même. Ce sont encore des faits démontrés par la pratique et les expériences.

J'ai encore avancé que le rayon simple n'était pas propre à faire parcourir facilement des courbes à petit rayon dans les chemins de fer, parce que la distance des essieux s'y opposait; cependant, dans les occurrences où il y a peu de chariots, où la vitesse n'est pas considérable, les chariots peuvent y passer; mais alors il faut, de toute nécessité, un rebord au rail extérieur, sans quoi il ne ferait pas un pas sans sortir de la voie, parce que le rayon alors est trop court, par suite de la distance des deux essieux ou cônes. (*Voir* page 48.)

Le chemin rue Picpus, à Paris, celui de Denain près Anzin, sont ainsi construits, parce que je n'avais pas encore résolu le problème des effets de deux essieux.

D'après cet exposé, il semblerait que, tout ainsi disposé, les chariots ne pourraient desservir le tracé des chemins en activité maintenant, puisque, par ce mode, on ne pourrait obtenir qu'un seul et même petit rayon propre à une seule courbe d'environ 30 mètres.

C'est une erreur: il n'est pas possible, à la vérité, de parcourir des courbes d'un rayon beaucoup plus petit; mais aussi toutes celles d'un rayon indéfiniment plus grand peuvent être desservies très facilement, avec le secours de lignes droites intermédiaires raccordées par des sections de courbes d'un plus petit rayon (celui que la construction des roues détermine), ce qui donne lieu d'appliquer tonjours la méthode ci-dessus.

En effet, supposons une courbe au rayon de 600 mètres, 20 fois égal à celui de 30 mètres du système nouveau.

On sait que le développement de chacune de ces courbes, pour un quart de cercle, est égal à une fois et demie la longueur du rayon :

Ainsi le développement de la petite courbe au rayon de 30 mètres étant de 45 mètres, celui de la courbe (système actuel de 600 mètres) sera de 900, différence 855 mètres environ en ligne droite, et ainsi de toute autre courbe, suivant la grandeur et en raison du rayon auquel elle appartient.

De cette manière on acquiert l'avantage de parcourir cette courbe au parcours de 900 mètres, convertie presque entièrement en ligne droite, sans éprouver de diminution sensible *dans la vitesse.*

En effet, la vitesse acquise au sortir de la ligne droite ne peut être diminuée dans un passage subit et si court de 45 mètres, parcours dans lequel l'équipage ne se trouve en entier que l'instant d'un éclair, puisque la tête n'y est engagée que lorsque les derniers chariots sont encore dans la ligne droite, où ils jouissent de toute l'impulsion acquise, et que ceux-ci ne sont pas encore entrés dans la courbe, que déjà la tête court dans la ligne droite, avec toute sa vitesse ; et si, comme cela est très facile, on rompt ce parcours de 45 mètres par autant de lignes droites intercalées par tiers, quarts, etc., l'équipage se trouvera n'avoir qu'un quart à un tiers engagé en courbe, et par conséquent, non susceptible d'éprouver la moindre diminution de vitesse pour passer ces 45 mètres en courbe ; et supposant encore quelque retard, la compensation n'en sera-t-elle pas obtenue dans les 855 mètres convertis en ligne droite, que le système actuel est obligé de parcourir en courbes en plus des autres 45 mètres avec tous ces inconvéniens ?

Considérons, en outre, que cette courbe (système actuel), improprement appelée ainsi, n'est qu'un vrai *polygone* formé d'une quantité d'angles ouverts d'un degré et demi, puisque les rails, dans leur longueur de 5 mètres environ, ne sont plus cambrés, lorsque les rayons ont atteint cette longueur de 5 à 600 mètres : ainsi, tous les 5 mètres, c'est un choc que tous les chariots éprouvent individuellement à la fois, et pour un parcours de 900 ^{m} 180 chocs chacun ; ce qui causera 3,600 chocs, si l'équipage est composé de 20 chariots. On conçoit aisément combien ces chocs, tout petits qu'ils sont, viennent augmenter les autres causes de retard dans la marche des chariots, et sont sujets à déplacer les rails ; c'est ce qui arrive en effet.

Dans les grandes courbes, la présence de celle de 30 mètres peut n'être aucunement sensible, en divisant les courbes en très petites parties : par exemple, la grande courbe ci-dessus au rayon de 600 mètres ayant un développement de 900 mètres pour un quart de circonférence, et celle de 30 mètres celui de 45^{m}, c'est 1 mètre en courbe contre un parcours de 20 mètres en ligne droite, ou 0^{m},50 en courbe et 10 mètres en ligne droite. La compagnie des mines d'Anzin a établi de la sorte, dans ses chemins de fer pour le service de ses fosses de charbons, des parcours de

courbes différens jusqu'à 1 mètre, $0^{m},75$, et même $0^{m},45$, et à sa plus grande satisfaction.

Par ce moyen, on pourrait suivre d'une manière absolue le tracé de la courbe de 500 mètres, sans aucunement diminuer la vitesse acquise, et on n'éprouverait aucun frottement, la roue intérieure formant toujours tangente sur son rail, *fig.* 8e.

Cette grande courbe, changée en lignes droites intermédiaires et petites sections de courbes, devient, en petite proportion, ce qu'est un chemin de fer en son entier, c'est à dire un composé de lignes droites et courbes : comparés l'un à l'autre, ils sont en tout semblables, sauf les dimensions.

Nous venons de dire qu'avec le secours de lignes droites intermédiaires, raccordées par des sections de courbes d'un plus petit rayon, on pouvait parcourir des courbes infiniment plus grandes et raccourcir le chemin. (*Voir* page 47.)

Fig. 7e. ZZ' est la courbe de 500 mètres.

A est le point de centre du rayon de 30 mètres.

BBBBB, Sections de la courbe de 30 mètres reportées en DDDDD de la courbe de 500 mètres.

CCC, Sections de cette même courbe reportées en EEE de la courbe de 250 mètres.

FFF, Rayon de la courbe de 30 mètres reporté en GGGGG des courbes de 250 et 500 mètres.

II, Lignes intermédiaires raccordées aux sections de la courbe de 30 mètres.

JJJJ, Autres lignes intermédiaires raccordées aux sections de la courbe de 30 mètres, pour remplacer le tracé de la grande courbe de 500 mètres.

KK, Lignes intermédiaires pour gagner de la courbe M à P et de P à O.

L, Grande ligne intermédiaire pour aller de D à MND ou de D à MKPPKOD ; de ce point D, en retournant sur ses pas, on peut revenir ou par OKPPKMQRSJD, ou bien par NQRSJD, ou plutôt par la ligne la plus courte DYD.

Ces itinéraires représentent la possibilité et la facilité de raccourcir la route, de parcourir des vallons et de suivre les tracés des courbes des chemins en activité.

T, Embranchement.

U, Continuité de cet embranchement par une ligne droite.

V, *Idem* par une courbe.

X, *Idem* par une autre ligne droite.

Pour faciliter l'entrée et la sortie des chariots dans les courbes, on peut donner à la plate-bande remplaçant le rail extérieur un peu plus de développement, de manière que le collet de la roue agisse un peu plus tôt et un peu plus tard que les principes ne l'indiquent.

A (*fig.* 9e), Centre du rayon.

BB, Courbe du rail intérieur ; CC, plate-bande remplaçant le rail extérieur ; DD, prolongement de cette plate-bande au détriment des rails droits ; ED, chemin droit qui communique à la courbe F; IC, rayon indiquant l'extrémité où la plate-bande devrait cesser, suivant les principes précédemment établis.

Ce système de petites courbes donne encore la facilité de parcourir l'intérieur des villes dont les rues auraient 10 à 12 mètres de largeur.

La manière dont je viens d'établir le chemin de fer pour le dépôt de charbons de M. Dehaynin à la Villette, au travers de la grande route, n° 76, ne présente aucune aspérité, et prouve qu'on peut traverser les villes sans embarras.

Ce système a permis encore de n'avoir qu'une aiguille mobile, au lieu de deux ; la plus coûteuse est remplacée par un bout de rail particulier et fixe, et l'autre aiguille, quoique libre dans le sens horizontal, est mise à l'abri du vol

AA, BB, CC (*fig.* 10e), Rangée de maisons bordant les rues ; DD, intérieur des rues ; GG, extrémités des rails droits ; HH, courbes pour tourner à angle droit.

Il faudrait moins de largeur, suivant que l'angle serait plus ouvert.

La *fig.* 11e démontre comment, au moyen de courbes à petit rayon, on peut monter une montagne à rampe très rapide, pour éviter d'employer les machines stationnaires et les souterrains.

AC, Montagne franchie en ligne droite par le secours des machines stationnaires.

ABC, Même montagne, développée au moyen de la courbe à petit rayon B, parcourue sans machines stationnaires.

B, Petite courbe dont on peut augmenter le nombre, pour diminuer encore la rapidité de la rampe.

Tout ce qui vient d'être développé pour les courbes est applicable aux changémens de direction ou points de rencontre.

CHAPITRE V.

Preuves, faits et pratique.

De ces dispositions dans le chemin et dans les chariots, il résulte qu'on obtient, à peu de chose près, les mêmes facilités dans les courbes à très petit rayon que dans les lignes droites, telles que la vitesse, le peu de frottement avec la même quantité de chariots et la même charge, et c'est ce que prouvent

1°. Un chemin établi, depuis trois ans, dans la raffinerie de M. Gauvain, rue Picpus, à Paris. (*Voir* page 48.)

2°. Des expériences faites, en 1832, sur le chemin de la Loire, constatant que, la rampe, la charge et la vitesse étant les mêmes, l'application de mon système a réduit le frottement sur une courbe au rayon de 28 mètres (*fig.* 12), à moitié de ce qu'il est ordinairement sur une courbe d'un rayon quatre fois aussi grand, c'est à dire d'un rayon de 100 mètres. (Extrait du *Bulletin des sciences technologiques*, juin 1832, signé *Perdonnet*, ingénieur des mines.)

Depuis deux ans et plus, ce même chemin se sert de ce système, par un embranchement pour le service des ateliers.

La compagnie des mines d'Anzin a déjà établi, sur deux chemins de fer, pour le service de ses fosses de charbon, plus de 1,000 mètres en courbes, et voici comme s'exprime à ce sujet l'agent général, M. Jennings, par sa lettre du 4 novembre 1833 ;

« Vous me demandez, monsieur, quelques détails sur les » avantages que j'ai trouvés dans l'adoption de votre système ; » *je vous dirai donc que* les plus grandes difficultés que l'on

» éprouve, pour l'établissement des chemins de fer à l'usage des » sociétés industrielles, proviennent de l'acquisition des ter- » rains sur lesquels ces chemins doivent être construits. Ces » difficultés m'obligèrent à faire usage de courbes de 100 mètres » de rayon, dans la construction du chemin de fer de l'éta- » blissement de Denain, courbes qui avaient été aussi em- » ployées au chemin de fer de Saint-Étienne à Andrezieux. *Il* » *résultait de cet emploi que les wagons roulaient très pénible-* » *ment dans les courbes, le frottement et le ralentissement de* » *vitesse y étaient aussi apparens que fâcheux; et, en outre d'un* » *accroissement de détérioration, on était obligé à une dépense* » *de force beaucoup plus considérable que dans les parties* » *droites.*

» *L'application de votre invention obvia complètement à cet* » *inconvénient; partout où j'ai fait employer votre système,* » *on a trouvé que les wagons roulaient, sur des courbes* » *n'ayant que 32 mètres de rayon, avec autant de facilité que* » *sur ses parties rectilignes, circonstance* qui a permis d'éviter » le passage sur des propriétés d'un prix trop élevé, et qui, » par conséquent, *a diminué de beaucoup les frais d'établisse-* » *ment*, dans lesquels entrent, en général, pour plus de moitié » ceux d'acquisition de terrains.

» Votre système m'a encore procuré l'avantage d'éviter les » frottemens très forts qui entravent le roulage dans les *chan-* » *gemens ou passages d'une voie à une autre.* La forme des rails » adoptés chez nous facilite singulièrement ce passage. »

Ici M. Jennings donne les raisons par lesquelles il ne peut pas se prononcer à l'égard des grandes vitesses. Mais cette question va se trouver résolue. (*Voir* page 36.)

M. Jennings termine sa lettre ainsi. « En attendant, je me » fais un plaisir de vous dire que la compagnie des mines » d'Anzin a trouvé, jusqu'à présent, dans l'application du *sys-* » *tème-Laignel* aux chemins de fer qui sont en usage dans ses » établissemens, des avantages tellement évidens, qu'elle con- » sidère votre invention comme le plus grand perfectionne- » ment qui ait été apporté aux chemins de fer jusqu'aujour- » d'hui.

» Je suis, etc. »

Voir encore un chemin construit au bord du bassin de la Villette, quai de la Loire.

Enfin, en Belgique on a déjà commencé à adopter ce système.

Ces faits ne concernent que le système du rayon simple, aidé du rail extérieur à rebord et avec peu de vitesse.

A l'appui du système du rayon composé sans rebord extérieur, et avec grande vitesse, j'apporte les faits et les preuves suivans.

Les expériences faites par les ponts et chaussées, sur un cercle entier au rayon de 34 mètres, ont donné une vitesse de quatre lieues et demie à l'heure, avec un équipage de huit chariots à la suite les uns des autres, et une charge de près de neuf tonneaux, sans sortir de la voie, quoique le rail extérieur fût remplacé par une plate-bande sans rebord, et sans toucher latéralement le rail intérieur.

M. le baron *Séguier*, dans son rapport verbal à la Société d'encouragement, en mai 1835, s'exprime ainsi :

« Ces expériences ont eu lieu avec cinq, sept et neuf chariots, attelés de deux chevaux, et parcourant un chemin circulaire (1). Les chariots ont décrit plusieurs fois, avec un plein succès, les trois quarts de la circonférence, et même parfois la circonférence entière ; leur course n'a été interrompue que sur un seul point, qui se trouvait dégradé, et quelques accidens ont failli surgir ; mais il est à remarquer que le passage de la ligne courbe sur la ligne droite, et, *ce qui est plus difficile, celui de la ligne droite sur la ligne courbe* (2), ont été constamment effectués sans la moindre difficulté.

» M. le baron *Séguier* pense que le système de M. *Laignel* mérite, sous tous les rapports, d'être l'objet d'études suivies et d'expériences bien dirigées.

» M. *Olivier* déclare que cette opinion est celle de tous les membres du comité des arts mécaniques ; mais comme ces expériences doivent entraîner des frais qui ne peuvent être à la charge de l'auteur, et que, d'ailleurs, elles doivent être faites dans un intérêt général, il demande, au nom du Comité, qu'une somme

(1) *Au rayon de 34 mètres et avec une vitesse de 4 à 5 lieues par heure.*
(2) *Sans rail à rebord extérieur.*

de 400 fr. soit allouée pour subvenir aux dépenses qu'elles nécessiteront.

» L'allocation de cette somme est accordée. »

Rapport fait par M. Th. Olivier, *au nom du Comité des arts mécaniques, sur le système des courbes à petit rayon, imaginé par M.* Laignel, *ingénieur civil.*

Dans sa séance générale de juin 1832, la Société d'encouragement a décerné à M. *Laignel* une médaille d'or de deuxième classe, pour l'invention de son système de courbes à petit rayon sur les chemins de fer.

M. *Laignel* a justifié, par de nombreuses applications de son système, l'opinion favorable qu'en avait conçue le comité des arts mécaniques, qui l'a vu appliquer avec avantage dans la raffinerie de M. *Gauvain*, à Paris.

Il a acquis la certitude que la compagnie des mines d'Anzin en a fait une heureuse application, et ne donne que des éloges aux services qu'elle retire journellement de ce système; il a appris que le chemin de fer de la Loire emploie, depuis plus de deux ans, cette invention pour le service de ses ateliers.

Le comité des arts mécaniques, qui a suivi avec un constant intérêt le développement que prenait le système de petites courbes dû à M. *Laignel*, a appris, avec satisfaction, que plusieurs exploitations se proposaient de l'adopter, et il ne doute pas qu'elles n'aient à se louer de son emploi.

De graves objections avaient été faites contre l'emploi de ce système dans les grandes voies de communication, et le comité des arts mécaniques, appelé à faire des expériences sur le spécimen de chemin de fer exécuté par M. *Laignel*, d'après ses nouvelles idées, et perfectionné par des observations ingénieuses qu'il a développées devant lui, n'hésite pas à annoncer qu'elles donnent l'espérance fondée que M. *Laignel* pourra être présenté pour la prochaine distribution des récompenses que la Société d'encouragement tient en réserve pour les inventions qui portent le cachet d'une réelle utilité. Le comité des arts mécaniques regrette que M. *Laignel*, à qui, en 1832, a été décernée la médaille d'or de deuxième classe pour son ingénieuse

idée touchant les courbes des chemins de fer, n'ait pu, par des motifs dont le comité a apprécié la justesse, soumettre plus tôt son spécimen de chemin de fer à l'examen des commissaires.

D'après les expériences qui ont été faites aux frais de la Société, le comité a acquis la certitude que l'application de ce système permettait de faire parcourir aux wagons une vitesse de cinq lieues et demie (22,000 mètres) à l'heure, sans qu'ils sortissent de la voie (1), et il s'est assuré que, par cette vitesse, le rail intérieur n'est point touché par les roues, encore moins le rail extérieur (2).

Dans cet état de choses, sur la proposition du comité des arts mécaniques, le conseil a décidé qu'un témoignage de haute satisfaction serait donné, en séance publique, à M. *Laignel*, persuadé qu'un examen plus approfondi de son système ne peut être qu'utile à cet ingénieux et laborieux industriel, et ne pourra que faire ressortir les avantages de son invention : c'est ce haut témoignage de satisfaction que nous vous proposons d'accorder à M. *Laignel* (3).

Approuvé en séance générale, le 24 juin 1835.

Signé TH. OLIVIER, *rapporteur*.

CHAPITRE VI.

Faire connaître et réfuter les objections qu'on a faites sur ce système.

Ces objections sont :

1°. La force centrifuge doit, suivant les uns, jeter les chariots hors la voie ;

(1) La vitesse aurait dû être calculée sur le rail extérieur au lieu du rail intérieur, ce qui approcherait de six lieues à l'heure. Les chevaux n'ont pu donner une plus grande vitesse.

(2) Puisque c'était une plate-bande sans rebord.

(3) *Ces expériences* ont eu lieu devant MM. *Ch. Mallet* et *Vauvillers*,

2°. La force centripète, selon d'autres, doit produire un effet tout contraire par suite de la quantité de chariots à la file les uns des autres;

3°. On se trouvera, dit-on encore, dans la nécessité de parcourir lentement les courbes d'après ce nouveau système;

4°. On éprouvera, assure-t-on, une très grande difficulté à modérer, d'une manière subite et convenablement, l'impulsion donnée par les machines locomotives aux équipages de douze à quinze chariots;

5°. Le parallélisme des essieux empêchera de marcher facilement dans une courbe quelconque;

6°. Enfin, la contrainte de ne pouvoir employer que des courbes à un seul petit rayon, 30 mètres environ, sans pouvoir en parcourir de plus grandes.

Toutes ces objections sont déjà réfutées par les expériences, la pratique et les faits que je viens de développer, à l'appui desquels j'ai apporté des attestations recommandables et incontestables; mais je veux bien, pour un moment, admettre ces objections pour démontrer à toute personne impartiale qu'elles ne sont nullement fondées.

Première objection, la force centrifuge, selon les uns.

Deuxième objection, la force centripète, selon les autres.

Ces deux premières objections impliquent évidemment contradiction; car comment admettre les chariots commandés simultanément par ces deux forces opposées?

La seule conclusion à tirer de ces deux objections, c'est que ces forces, si elles existent, se feront équilibre, comme il arrive toujours, lorsque deux forces égales, directement opposées, sont appliquées à un seul point sur une même droite.

Je pourrais me contenter de cette observation; toutefois, je veux bien concéder que l'une ou l'autre l'emportera.

Sera-ce la force centrifuge? Pour détruire son action, il suffira d'un des moyens suivans : 1° de former la partie du cercle intérieur avec le rayon prolongé et propre au grand cercle.

inspecteurs des ponts et chaussées, et de MM. *Mayniel*, capitaine de génie des sapeurs-pompiers, *Hallete* d'Arras, membre du Conseil général des manufactures de France, des ingénieurs et actionnaires des chemins de fer.

(Notes de M. Laignel.)

2°. En donnant à la plate-bande remplaçant le rail extérieur un peu plus de développement (*fig.* 9ᵉ);

3°. En élevant cette plate-bande de 0ᵐ,03 environ; dans les chemins actuels, on élève le rail extérieur de plus de 0ᵐ,07 pour faire riper les roues sur le rail extérieur;

4°. De fixer les essieux un peu plus rapprochés;

5°. De disposer un peu plus la charge sur le devant du chariot, ou d'y ajouter un supplément en charge utile;

6°. En attachant les chariots à la suite les uns des autres, non par leurs côtés, ni leurs extrémités, parce qu'elles sont toujours en dehors de la voie, mais bien d'arrière-train à avant-train, et au milieu de leur largeur; par ce dernier usage, les roues, ayant leur point d'appui sur et contre le rail intérieur, se maintiennent réciproquement et précisément dans les courbes, puisqu'alors leurs points d'attache se trouvent fixés au milieu de la voie.

Sera-ce la force centripète? Elle sera tout naturellement annulée par des moyens contraires, et la quantité de chariots n'est d'aucune influence dans cette circonstance; car il a été prouvé que, sur huit chariots dont la longueur et la distance entre chaque formaient une chaîne équivalente à celle de quinze chariots employés dans les chemins en activité, deux seuls, le premier et le dernier, étaient chargés, et les six autres intermédiaires vides.

Aucun d'eux, néanmoins, n'a touché la paroi latérale du rail intérieur, soit en allant vite, soit en allant doucement, en parcourant quatre-vingt-six fois un même cercle entier au rayon de trente-quatre mètres.

Enfin, on détruit encore ces forces centripète et centrifuge en intercalant dans les courbes des parties de lignes droites.

Au reste, il est certain, même aux yeux de ceux qui opposent cet argument, que ces forces n'existeraient pas si les équipages marchaient doucement; ceci nous conduit tout naturellement à examiner quelle pourrait être l'influence de cette perte de temps, ou, en d'autres termes, à la troisième objection.

Troisième objection. On se trouvera, dit-on, dans la nécessité de parcourir lentement les petites courbes du nouveau système.

Et d'abord l'expérience est bien loin de justifier cette opi-

nion, puisqu'on a jusqu'à six lieues de vitesse sans sortir de la voie, nonobstant l'absence d'un rebord extérieur; et, d'un autre côté, fût-elle vraie, cette lenteur ne causerait aucun retard, tant est grande la différence entre le parcours de courbes de ce nouveau système et celui de celles de l'ancien, et qu'il y a absence de toutes les causes retardatrices que nous avons déjà fait connaître; ainsi, malgré cette lenteur, tout l'avantage resterait encore au nouveau procédé. (*Voir* page 47.)

Les chiffres viennent ici lever tous les doutes, s'il pouvait en exister.

Sur 60,000 mètres de longueur du chemin de Saint-Etienne à Lyon, plus de 20,000 sont en courbes aux rayons de 5 à 600 mètres; c'est un tiers de la route, dont encore l'exiguité des rayons est cause de frottemens, de retards et d'inconvéniens, etc. Eh bien! par le mode nouveau, il n'y aurait qu'environ 1,400 à 1,500 en courbes, et les autres 18,500 seraient parcourus en lignes droites. (*Voir* page 32.)

Quatrième objection. On éprouvera, ajoute-t-on, une grande difficulté à modérer d'une manière subite et convenable l'impulsion donnée aux équipages dans les machines locomotives.

Cet obstacle n'est pas plus insurmontable que les précédens, ou, pour mieux dire, il n'existe pas, puisque huit et neuf chariots ont parcouru plusieurs fois un cercle entier avec une vitesse de six lieues à l'heure, sans rails extérieurs à rebord : *l'on voudra bien remarquer que ce sont des cercles entiers et non des quarts et des dixièmes, des* $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$ *de cercle, comme dans l'exploitation des chemins de fer.*

Mais admettons encore cette objection. Comme les courbes sont fixées à demeure, il ne s'agirait que de disposer en rampes légères les tenans et aboutissans de ces courbes, pour que les chariots, dans ce passage, éprouvassent un ralentissement progressif et sans secousse, que l'on pourrait augmenter et maintenir à l'aide du frein.

La cinquième objection repose sur le parallélisme des essieux; celle-ci n'est encore qu'apparente, puisque, par la différence des diamètres des roues et le prolongement du rayon exigé par cette distance, les chariots courent, sans toucher les bords des rails, avec la même vitesse que dans les lignes droites, ou les

jantes des roues, étant coniques, marchent tour à tour et de chaque côté de la voie, tantôt sur le plus grand diamètre de la jante, tantôt sur le plus petit ; les chariots font lacet et causent quantité de chocs, petits à la vérité, mais qui n'en agissent pas moins sur les rails, et les déplacent en élargissant leur voie. (Meynard, *Leçons sur les chemins de fer*, 1834, pag. 79.)

Enfin, la sixième objection avance qu'avec un rayon unique de 30 mètres environ, on se trouverait dans l'impossibilité de former et parcourir des courbes plus grandes, suivant l'occurrence, comme 100, 200 et au dessus.

Cette objection, comme toutes les précédentes, n'est pas fondée ; car, comme nous l'avons déjà dit, avec des lignes droites intermédiaires, on arrive à agrandir la petite courbe indéfiniment.

L'expérience et la pratique ont heureusement réfuté toutes ces objections, et je n'aurais pas pris la peine de les combattre, si ces objections n'avaient pas été avancées par des ingénieurs, des savans et des constructeurs de chemins de fer, et livrées à l'impression.

Ainsi, par exemple, la force centrifuge, l'impossibilité d'obtenir de plus grands rayons, les frottemens contre les rails, la destruction de l'alignement des bandes sont soutenus par M. Ménard, dans son ouvrage intitulé *Leçons sur les chemins de fer*, 1834, par M. Biot fils, dans son *Manuel du constructeur de chemins de fer*, 1834, et par plusieurs autres qui, tout en examinant mon système, ne le voyaient toujours que comme le système actuel, c'est à dire sans considérer assez la valeur de la différence des diamètres, de la distance des essieux et de l'influence auxiliaire de la charge.

M. Biot, un des constructeurs du chemin de Saint-Étienne à Lyon, dans ledit Manuel, pour soutenir ses argumens défectueux, ne craint pas d'avancer des faits contraires à ce qui existe ; ainsi, quand il dit, page 94 : « Ce système (de M. Lai-» gnel) pourrait être plus utile dans les mines, où les galeries se » croisent sous des angles presque droits et où le mouvement » n'est jamais rapide ; ainsi on l'a appliqué à un chemin de fer » *souterrain*, établi dans les mines d'Anzin. *Très probablement*, » la largeur y est moindre que dans les routes en fer, construites » *à la surface du sol*, et les essieux plus rapprochés l'un de l'au-

» tre, comme cela a lieu pour les chemins de fer établis dans les » mines d'Angleterre : aussi les traîneaux employés dans les » mines ne portent-ils que le neuvième ou le huitième de la » charge des grands wagons employés sur terre. »

Voici l'état des choses :

Le chemin n'est point souterrain, mais bien à la surface du sol, car il traverse de grandes routes, comme celle de Denain, etc.

La largeur de la voie est de $1^m,45$, comme le chemin de Saint-Étienne ;

Les essieux sont à une distance de $1^m,20$ au lieu de $1^m,10$, comme à Lyon ;

Les roues ont en diamètre $0^m,893$, celles du chemin établi par M. Biot n'ont que $0^m,805$;

Des wagons qu'il compare à des traîneaux pèsent, avec leur charge, 5 à 6 tonneaux ; ceux de M. Biot atteignent à peine 4 tonneaux.

Voilà pourtant comme on fait des Manuels, et qu'on croit donner des leçons sans vouloir examiner et se convaincre par les expériences et les développemens des systèmes.

Ces objections ayant été imprimées et publiées en abondance, je me trouve contraint de prendre la même voie pour en faire connaître les réfutations. Je me suis tu, d'abord, tant que je n'avais à présenter qu'une théorie trop peu développée et confirmée, puis dans l'espoir de faire revenir mes adversaires, en les appelant aux expériences publiques et convaincantes. Le malheur a voulu qu'ils se soient même refusés à y assister, et ils sont demeurés dans cette prévention, puisqu'ils ont fait des tracés de grandes lignes, sans en faire mention ; mais, par suite de cette manière d'agir, leur appartenait-il d'être juges de mon système, surtout en s'adjoignant un ingénieur inventeur d'un instrument on ne peut plus défectueux, ainsi que le prouvera le rapport d'une commission, qui fait suite à ces études ?

CHAPITRE VII.

Désigner les avantages que ce nouveau système apporte dans son

application, tant à l'égard des chemins à construire que de ceux maintenant en activité.

Les uns sont matériels, si je puis m'exprimer ainsi, et ont pour objet principal d'éviter les frottemens des jantes contre les rails dans les courbes, obstacle reconnu invincible jusqu'à présent, et les chocs dangereux dans les changemens de direction aux points de rencontre, etc.;

Les autres pécuniaires, par la diminution incalculable des frais de premier établissement et d'entretien qu'ils nécessitent.

Tous me paraissent dignes de fixer l'attention non seulement de ceux qui voudraient entreprendre des chemins de fer ou s'y intéresser, mais encore des Sociétés en pleine activité.

Ces avantages sont :

1°. D'établir et de parcourir facilement des courbes de 20 à 30 mètres de rayon et au dessus indéfiniment;

2°. De remplacer par de petites courbes les angles des points de rencontre, et par là éviter les causes les plus ordinaires de danger;

3°. De disposer des courbes de manière à éviter les chocs et les frottemens considérables, et les reculs des roues;

4°. De traverser ces courbes avec la même vitesse que les lignes droites;

5°. De ne pas éprouver d'augmentation de résistance en raison de la vitesse;

6°. De diminuer considérablement la longueur du chemin;

7°. De tourner beaucoup d'obstacles, comme montagnes, rivières, ponts, usines, etc.;

8°. De faire la loi aux propriétaires de terrain, en les mettant en concurrence, et à les tourner de manière à ne plus être exposé à subir leurs prétentions aussi ridicules qu'onéreuses;

9°. De diminuer les causes des déblais et remblais;

10°. D'approcher très près et même de traverser les villes et les vallées;

11°. De gagner du temps par la brièveté de la route;

12°. De faire des embranchemens très courts et faciles, en évitant de passer sur plusieurs propriétés;

13°. D'éviter souvent les cas de percemens de montagnes en souterrain et à ciel ouvert, et par conséquent les éboulemens;

14°. De pouvoir aussi suivre toutes les sinuosités des grandes routes sans la moindre difficulté ni embarras ;

15°. De pouvoir enfin être appliqué, même dans les chemins en pleine activité, sans en changer le tracé, en convertissant ces grandes courbes presque entièrement en lignes droites. (*Voir* page 46.)

Ici se terminent les études des courbes de petit rayon qu'on doit employer dans l'exploitation des chemins de fer. Je crois avoir réussi, d'abord à réfuter par la pratique les objections qu'on a élevées, ensuite à faire sentir la facilité d'établir ces courbes et les avantages qu'elles procurent comparativement à celles de 5 à 600 mètres; minimum du système actuel.

Il semblerait alors que je n'aurais plus rien à dire aujourd'hui, et que tout le monde se serait rendu à l'évidence ; on se trompe ; car il me reste encore à combattre un rapport fait par une commission des ponts et chaussées sur des expériences que j'ai cr devoir appeler ce corps à faire dans l'intérêt général, et pour éclairer le public ; malheureusement, je n'ai pu réussir dans mon projet ; car ces expériences ont été faites avec des préventions funestes, de la part de quelques uns des membres qui ont employé des moyens diamétralement opposés au système, tels que,

1°. Exigence d'un cercle entier sans vouloir admettre des parties de cercle entre des lignes droites ou tangentes ;

2°. Parcours de ce cercle entier, 220 mètres, au lieu de petites parties de cercle ;

3°. Comparaison de la vitesse et de la traction éprouvées pendant ce parcours entier, avec celles éprouvées dans les lignes droites, tandis qu'elle ne devait être faite qu'avec des courbes au rayon de 500 mètres du système actuel ;

4°. Vitesse prise dans ce cercle même, au lieu d'une ligne droite, pour profiter de l'impulsion acquise au passage des courbes.

En effet, que l'on compare ces quatre dispositions avec l'exploitation réelle d'un des chemins de fer établis en France, par exemple, celui de Saint-Etienne à Lyon, sur lequel il y a 108 courbes au rayon de 480 à 650 mètres, s'élevant en développement à 19,860, et l'on verra combien les expériences

de cette commission sont loin d'être faites convenablement, d'éclairer le public et de mériter le moindre intérêt.

Le tableau suivant achevera d'en convaincre.

Nombre des courbes.	Développemens particuliers.	Développemens, système nouveau.		Développem. ; système ancien.	Proportion de la circonférence.
Nos					
1 2	de 60m.	120m.	au lieu de	1,560m.	1/4.
2 5	de 31 à 40m.	178	d°.	2,316	1/8 à 1/6.
3 14	de 21 à 30	362	d°.	4,808	1/12 à 1/8.
4 29	de 11 à 20	450	d°.	5,831	1/24 à 1/12.
5 58	de 3 à 10	454	d°.	5,345	1/8 à 1/24.
108		1,534m,	d°.	19,860	

N° 1, 2 courbes de 60m. L'équipage entier ne serait qu'un instant en courbe; mais en intercalant de 20 à 30 mètres de lignes droites, il n'y aurait plus que 8 à 10 chariots.

N° 2, 5 courbes de 30 à 40m. Ce ne seraient plus que 9 à 13 chariots en courbes, et moins si on intercalait aussi quelques lignes droites.

N° 3, 14 courbes de 20 à 30m. Il n'y aurait alors que 6 à 9 chariots, et moins, etc.

N° 4, 29 } courbes de 10 à 20m. Ce ne seraient plus que 3 à 6 chariots.

N° 5, 58 } d°. de 3 à 10. Un à 3 chariots seulement en courbe.

108 courbes.

Dans le chemin de Saint-Germain à Paris, qu'on s'occupe d'établir, les courbes, dit-on, seront au rayon de 2,000 mètres; celui de mon système étant de 40 mètres, ce ne serait donc que $\frac{1}{50}^{e}$ ou un mètre en courbes contre 49 en ligne droite. Supposons le développement des premières à 500 mètres, elles seront parcourues avec toutes les causes de résistance d'autant plus considérables, que la vitesse est plus grande, tandis que, par le nouveau système, il n'y aurait que 10 mètres en courbes qu'on peut diviser, et 490 mètres en ligne droite, le tout parcouru avec toute vitesse et sécurité; mais dans les changemens de voie, qui se font par des angles ouverts de 6 degrés, où les chocs sont terribles, on aime mieux faire courir aux voyageurs les risques de se casser bras et jambes, etc., que d'employer

un système où l'on est continuant une ligne droite. (*Voir* pages 9 et 10.)

Quelle différence de parcours en courbes ! Qu'on veuille bien maintenant se les représenter parcourues avec la faveur de la grande vitesse acquise à la sortie des lignes droites, et je demanderai quelle diminution de vitesse et quelle augmentation de traction un convoi de douze à quinze chariots peut alors éprouver?

Est-ce avec de pareilles dispositions qu'ont été faites les expériences?

4°. De plus, l'emploi d'un instrument inconnu qui a donné des résultats erronés au delà de l'imagination.

En outre, refus obstiné jusqu'à ce jour de me montrer cet instrument ;

Et, dans le temps, refus de toute participation aux expériences, et même d'entendre le développement du système, suivi de quelques expériences à l'appui.

Aussi, pour ne pas rester sous une aussi funeste influence, je viens en appeler au public, et lui soumettre ici l'examen du rapport, en l'assurant que tout est littéral, et copié sans suppression, transposition, ni changement ; mais chaque paragraphe est accompagné d'observations qu'il nécessite, selon moi, et que je laisse à juger au tribunal devant lequel j'en appelle.

Je me dois encore de dire que j'ai fait tout le possible, mais en vain, pour éviter d'en venir à une publicité pénible pour tout le monde.

NOTES DIVERSES.

(*Voir* page 41.) Ainsi, par exemple, supposant que toute la partie de Paris, à droite de la Seine, fût une montagne, et qu'on voulût communiquer de la barrière du Trône à celle de l'Étoile, il faudrait, ne pouvant parcourir des courbes d'un rayon assez petit pour gagner et longer la rivière, il faudrait, dis-je, tourner Paris, et au large de ses murs extérieurs, ce qui augmenterait considérablement la longueur du chemin en même temps que la dépense.

Par le système nouveau, il serait facile de continuer d'une manière *beaucoup* plus directe, en passant par la rue du Fau-

bourg-Saint-Antoine, la rue Saint-Antoine, la place de la Grève, gagner et longer les quais, jusqu'à la place Louis XVI, et prendre la grande avenue de Neuilly ; ou bien par le faubourg Saint-Antoine, le long de la Gare, tous les quais, etc.

Supposant encore qu'on voulût bien laisser établir des chemins de fer dans les rues de Paris, il serait facile de suivre la route de beaucoup des voitures à 30 cent. : comme tous les boulevarts ; de la barrière de la Râpée à celle de l'Étoile ; du Carrousel à Passy, au Père-Lachaise ; de la barrière d'Enfer à celle de Saint-Denis ; de la place Saint-André à la Villette ; du Pont-Royal à la Gare, etc., parce que tous les détours qu'elles sont obligées de faire sont à angles très ouverts.

Les plates-bandes doivent toujours être de fer malléable et jamais en fonte ; dans le premier cas, l'usure n'est pas sensible, et dans le second, au contraire, elle est très rapide, et forme promptement une rainure nuisible à la déviation.

Les parties du cercle extérieur d'une courbe ne doivent pas présenter d'ondulations horizontales, les chariots sortiraient de la voie en l'absence d'un rebord ou frotteraient contre ce rebord.

Dans les usines, pour aider encore à la marche des chariots, on pourrait, en outre des différences de diamètre, adopter l'indépendance des roues.

Et, pour obvier au mouvement de droite et gauche des chariots dans les lignes droites, on pourrait tenir un peu plus élevé, tantôt le rail de gauche, tantôt celui de droite.

(Page 27, avant le dernier alinéa.) Si quelquefois la charge n'était que peu portée en arrière au lieu de l'avant, la force centripète aurait encore lieu, mais avec un peu moins de faveur ; conséquemment, ce serait sans mouvement.

(*Voir* page 34.) « Nous, soussignés, attestons que, depuis » trois ans, le chemin en bois et fer que M. Laignel a construit » dans notre établissement n'a nullement souffert, que le ma- » tériel est aussi solide que dans son principe, et que le trac » des collets des roues, au passage des courbes, n'est nullement » apparent sur les plates-bandes.

» Nous attestons, en outre, que le service du chemin se fait » journellement à notre plus grande satisfaction. »

Paris, le 15 novembre 1835. *Signé* G. Gauvain et C^ie^.

P.-S. Ces études imprimées et prêtes à livrer au public, je remarque, dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* (août 1833, page 388), un article trop intéressant dans cette circonstance, pour ne pas le mentionner ici : il vient corroborer tout ce que j'ai dit concernant le système actuel et ses graves inconvéniens ; il démontre, en outre, la nécessité, l'absolue nécessité d'employer mon système de courbes à petit rayon, comme le seul propre à éviter les dangers et à favoriser la marche des chariots dans les courbes.

Voici cet article, auquel j'ajoute mes remarques par des renvois, pour ne pas distraire de l'idée de l'auteur.

« M. Stephenson, d'Angleterre, a remarqué que le rebord intérieur des roues de sa machine éprouve *un frottement considérable* contre les rails, surtout dans *le passage de la ligne droite sur la ligne courbe* (1) ; ce frottement produit non seulement un ralentissement sensible dans le mouvement de la machine et dans la rotation de l'essieu coudé des roues, mais il occasione souvent la rupture de cet essieu et celle des roues, qui, quittant alors les rails, exposent la voiture à verser (2).

» Pour remédier à ce grave inconvénient, M. Stephenson *propose d'adapter* à sa machine une troisième paire de roues placée à l'arrière (3) sous le fourneau qu'elles supportent, ainsi que la plate-forme sur laquelle se place le conducteur. »

Et il ajoute plus loin : « Ces roues, étant de la même forme que les roues ordinaires, *éprouvent le même frottement latéral contre les rails* (4) ; mais comme elles sont montées sur des axes qui tournent indépendamment l'un de l'autre, le frotte-

(1) Par le système nouveau, il n'y a ni frottement ni choc à craindre dans le passage des courbes, puisqu'on pourrait se passer de rebord extérieur, si on n'avait pas à craindre d'inconvéniens tout à fait indépendans du système.

(2) Tous ces dangereux effets ne peuvent avoir lieu ainsi qu'il a été démontré dans le cours de ces études.

(3) Le succès du moyen que se propose d'*adopter* M. Stephenson n'est rien moins qu'assuré : déjà des essais en ont été faits, et l'expérience en a démontré tout l'effet contrariant et dangereux.

(4) Ces frottemens sont bien moindres même pour des courbes de 30 à 40 mètres, suivant le système nouveau.

ment n'est pas assez puissant pour augmenter sensiblement le tirage. »

En outre des facilités et des avantages énumérés et développés dans ces études, il en ressort un autre d'une bien grande importance, c'est que toute compagnie qui s'entendrait avec moi, pour l'emploi de mon système, acquerrait la certitude de n'avoir pas à craindre de concurrence par l'établissement d'un autre chemin en fer propre à desservir la même ligne, puisqu'elle aurait seule le privilége du brevet pour cette ligne; et cette jouissance, pouvant durer encore près de dix ans, mettrait cette compagnie en position de continuer seule le même service, sans craindre de concurrence encore à cette époque, puisqu'elle serait liée avec tous les riverains, le commerce et les voyageurs, et qu'elle aurait fait des bénéfices suffisans pour faire temporairement de légers sacrifices, qui ne permettraient pas de tenter la concurrence.

ERRATA.

Page 16, ligne 14, longueur, *lisez* largeur.
Page 17, ligne 7, 30 × 0,5 *lisez* 30, × 0,04.
Page 48, ligne 29, mouvement, *lisez* inconvénient.

Dans l'examen et la discussion du rapport et du journal des expériences ci-après, dressés par un ou deux membres des ponts et chaussées, et signés par plusieurs ingénieurs du même corps, je déclare que je n'entends point attaquer tous les membres de la commission ; seulement je veux soustraire mon système au jugement partial qui a été porté par suite d'expériences faites sur mon spécimen de chemins de fer : en conséquence, et pour éclairer le public sur qui doit tomber tout le blâme, je vais, avant d'entrer en matière, désigner les personnages, avec le rôle que chacun d'eux a tenu dans cette circonstance.

La commission instituée précédemment était composée de

MM. Devillers, inspr divisre, président.
Polonceau, *idem*.
Navier, ingénr en chef.
Defontaine, *idem*.
Tarbé fils, ingénr de 2e ou 1re classe.

M. Devillers, ainsi que je me plais à le reconnaître, a apporté de l'impartialité ; il a relevé M. Tarbé fils d'erreurs majeures qu'il avait commises ; il a reconnu que les chariots ne touchaient point les rails ; il a rejeté comme contraire aux faits et aux conventions une lettre que M. Defontaine voulait que je fisse imprimer dans le Constitutionnel : cette lettre m'aurait fait dire que le gouvernement payait toute la dépense, quand à peine il y entrait pour un dixième ; que je n'étais que l'entrepreneur des travaux, quand au contraire je suis l'inventeur ; qu'enfin j'étais tout à fait étranger aux expériences, quand il était convenu, par écrit, que j'y coopérais par la connaissance de mon système. M. Devillers a lui-même corrigé la lettre, et fait dire tout le contraire ; de plus, il a admis plusieurs réclamations que j'ai faites à la première lecture du rapport ; enfin, il n'a pas été opposé à ce qu'il me fût accordé une indemnité ; cependant j'ai un reproche à lui faire, celui de n'être pas toujours resté présent aux expériences, de m'avoir abandonné à deux ingénieurs, dont l'opposition de système était connue, et m'avait été déclarée bien formellement avant les expériences, et d'avoir eu confiance dans un instrument que le journal des expériences est loin de justifier.

M. Polonceau ayant donné sa démission, je dois regretter son

absence ; son impartialité et sa propension pour les bons systèmes nouveaux sont assez connues : il m'a fait part des raisons de son refus ; j'en reconnais toute la valeur, particulièrement dans la circonstance même où je me trouve.

M. Navier, qui, nommé trois différentes fois pour m'entendre développer mon système, ne m'a jamais accordé cette faveur, a fait ses tracés de grandes lignes sans connaître ce système, ainsi qu'il l'a prouvé depuis, par la note qu'il a insérée dans les annales des ponts et chaussées, novembre et décembre 1834, note si bien raisonnée, qu'il a été obligé de la démentir au numéro suivant, par un avertissement en très petits caractères et en ces mots : « *Je prie le lecteur, d'après cela, de ne pas s'arrêter aux résultats que j'ai annoncés.* » Cette note avait été rédigée avec beaucoup de réflexion, et si ses calculs ne suffisent pas pour le prouver, la lettre suivante qu'il m'a écrite, sur une simple question à laquelle il n'a pas répondu, en donnera bien au moins le soupçon.

« *M. Navier prie M. Laignel de considérer que quand un ingé-* » *nieur a examiné une question, qu'il s'est formé un avis et qu'il* » *l'a publié, il a fait tout ce que le public avait droit de lui de-* » *mander; je le prie d'examiner mon mémoire.* »

M. Defontaine, auteur aussi de tracés de grande communication, tracés qui paraissent loin d'obtenir l'approbation publique, qui soutenait, précédemment aux expériences, que je ne pourrais avoir ni charge considérable, ni grande vitesse, ni maintien dans la voie sans rebord, a écrit en marge de mon manuscrit d'étude des courbes, à l'article où il est dit qu'*avec les petites courbes* on diminue la longueur du chemin, ce peu de mots qui indiquent bien toute son opposition : « *grave erreur; plus on prendra de courbes à grand rayon, plus on diminuera le développement d'un chemin.* »

M. Tarbé fils, qui m'a déclaré formellement en son nom et en celui de tous les autres membres de la commission, en me les désignant par leurs noms, qu'ils étaient tous opposés au système, sentant bien, après cet aveu, qu'il ne pouvait plus délicatement faire partie de la commission, donna sa démission ; M. le directeur général ne voulut pas la recevoir, mais en me le faisant connaître il me déclarait que M. Tarbé fils ne serait pas mon juge, *parce qu'il n'aurait pas* voix délibérative.

Eh bien! on le croira difficilement, celui à qui on refusait voix délibérative est le rédacteur du rapport, ce qui est d'une bien autre influence : ainsi, M. le directeur général et moi, avons été bien trompés.

On s'est adjoint M. Raucourt, avec mon consentement, il est vrai, parce que j'étais loin de m'attendre aux suites de cette admission, et surtout de l'instrument de son invention, dont la justesse et la précision peuvent être admirables pour lui, puisqu'il donne jusqu'à la différence d'un demi-centième de kilogramme, suivant le journal des expériences, mais que ce journal vient au contraire de condamner sans rémission aucune.

Ce sont ces trois personnes-là qui ont mené et fait les expériences que nous allons exposer très fidèlement, avec mes commentaires à chaque paragraphe.

Conclusion de cet avant-propos.

C'est que, loin d'attaquer le mérite et l'impartialité de MM. les ingénieurs des ponts et chaussées, je me plais, au contraire, à déclarer que beaucoup d'eux approuvent mon système, qu'ils sont bien fâchés de la manière dont les expériences ont été faites, et je déclare, en outre, que c'est aux encouragemens de plusieurs d'entre eux que je dois d'être parvenu à une étude précise et raisonnée et à un succès aussi important que certain.

Ainsi donc, dans le courant de l'examen, du rapport et du journal des expériences, lorsque je cite la commission, je n'entends parler que de MM. Defontaine et Tarbé fils (ce dernier est sous les ordres du premier). Je pourrais désigner encore M. Raucourt, s'il eût été membre de la commission; mais je m'attacherai à son instrument, comme la cause principale des résultats erronés, qui, malheureusement encore pour MM. Defontaine et Tarbé fils, ont donné trop d'apparentes preuves et servi de base à leurs singulières dispositions.

Expériences faites sur le chemin de fer des Champs-Élysées, par la Commission des ponts et chaussées.

Courbes à très petit rayon.

Inventeur du moyen à employer pour parcourir sur les chemins de fer des courbes de très petit rayon, je proposai, en septembre 1834, à M. le directeur général des ponts et chaussées, de faire sur mon chemin des expériences comparatives *entre mon système et celui en usage dans le tracé des courbes de 500 mètres de rayon (système actuel).*

Mais comme ces expériences nécessitaient des travaux particuliers, M. le directeur général, sur les 500,000 fr. accordés par les Chambres pour les études des chemins de fer, voulut bien entrer dans la dépense pour une somme de 1,650 fr. Je mettais à sa disposition toutes les parties du chemin déjà construit, ainsi que 9 à 10 chariots, dont l'ensemble s'élevait à plus de 12,000 fr.

Quoique la somme mise à ma disposition fût bien inférieure à la dépense à faire, et ne pût m'indemniser des avaries et des détériorations que j'allais éprouver dans le déplacement et le replacement de parties de mon chemin, et dans la construction d'un cercle entier, puisque j'ai encore dépensé une somme égale à celle des ponts et chaussées, je l'acceptai néanmoins, parce que je désirais ardemment arriver à l'intéressante solution de faire parcourir aux chariots des courbes au rayon de 30 à 40 mètres, sans pression latérale des roues contre les rebords des rails extérieur ni intérieur, solution que je crois avoir complètement obtenue.

La Commission, qui, à cette époque, était instituée pour les études des chemins de fer, me fit prendre l'obligation de coopérer au succès des expériences par mes études sur cette invention.

Ainsi, en outre du droit incontestable, comme inventeur, de développer mon système et de l'appuyer d'expériences convenables, j'y étais encore appelé par nos conventions et ma mise de fonds.

Cependant cette Commission m'a refusé ce droit, elle m'a mis en dehors de toute participation aux expériences; elle s'est servie *de mes chemin et chariots*; elle s'est jetée dans des actes et des

essais contraires au système et à l'intérêt public ; elle a exigé la construction d'un cercle entier, sans en admettre des parties entre des lignes droites, comme cela existe dans tous les chemins en exploitation ; elle s'est renfermée dans des expériences de comparaison, seulement entre un cercle entier au rayon de 35-50 et des lignes droites, tandis que l'objet des expériences était la comparaison de la courbe de mon système avec des courbes de 500 mètres de rayon, regardées comme le minimum du système actuel ; elle a prétendu ne se servir, pour mesurer les tractions, que d'un instrument inventé par un des membres, instrument qui, de l'aveu même du rapporteur, n'est point assez connu ; qui n'est point approuvé de l'Institut, dont on a demandé l'examen, ni par aucun autre corps savant ; elle s'est obstinée à m'en refuser l'examen et même la vue avant, pendant les expériences, et depuis, voilà plus d'un an. On a porté ce refus jusqu'à m'écrire *qu'on ne croyait pas devoir soumettre au contrôle de la partie intéressée un instrument que la Commission avait trouvé bon;* enfin, elle m'a réduit au rôle de spectateur purement passif dans un système qui m'appartient, et que cette commission était loin de connaître.

Il résulte de ce manque de communication, de discussion entre la Commission et moi, que je suis toujours en droit de repousser toute conclusion défavorable, quand bien même elle paraîtrait fondée ; mais l'examen même du rapport de la Commission prouvera que les inductions et conclusions ont été prises légèrement, et qu'il eût mieux valu m'entendre en particulier que de me forcer à élever la voix en public.

Pour qu'il soit facile au lecteur de comprendre le rapport de la Commission, je le transcris ici avec mes observations en regard.

RAPPORT.

« Avant d'entrer en matière, on croit utile de rappeler succinctement les moyens employés par le sieur Laignel, pour faire passer les chariots dans les courbes à petit rayon.

« Une partie du frottement dans le passage des courbes, lorsqu'elles sont parcourues par des chariots dont les roues sont égales, résulte de ce que les roues ont besoin de glisser.

« Pour compenser la différence de longueur entre la circonférence du rail extérieur et celle du rail intérieur, le sieur Laignel imagina de faire porter les roues extérieures sur la saillie, en continuant de faire porter les roues intérieures sur la gorge, et de proportionner les circonférences extérieures et intérieures des rails aux diamètres pris en dehors de la saillie et de la gorge des roues.

« Ce procédé eût supprimé le glissement en longueur que le sieur Laignel cherchait à détruire; mais au lieu d'exécuter les circonférences des rails, dans le rapport des dimensions des roues, il a été conduit par suite du parallélisme des essieux, et pour combattre la force centrifuge, à construire la circonférence des rails dans un rapport moindre que celui des diamètres des roues : il augmente ainsi le rayon des courbes qu'il leur aurait fait parcourir, et introduit de nouveau un frottement du genre de celui *qu'il a cherché à supprimer* ;

OBSERVATIONS.

Ce procédé eût, en effet, suffi s'il ne s'agissait que de chariots à un seul essieu et deux roues, nous représentant parfaitement un cône couché, *fig.* 6; les roues, par la différence de leurs diamètres, peuvent être en parfaite harmonie avec les cercles d'une courbe dont les rayons sont pareillement différens; mais comme les chariots des chemins de fer sont montés sur deux essieux parallèles et deux paires de roues solidaires, il en résulte deux cônes à axes parallèles, plus ou moins distans l'un de l'autre, qui, par cette raison, ne pouvant plus marcher chacun autour de leur sommet particulier, se trouvent contraints de le promener autour d'un nouveau et plus petit cercle; celui-ci a de même son rayon propre, qui vient prolonger le premier, et forme avec lui le rayon commun aux deux cônes.

L'erreur de la Commission a été de considérer un cône unique, et le rayon simple qui lui est propre, au lieu de deux cônes réels, et le rayon composé qui leur est spécial; pourtant M. Tarbé m'avait déclaré, avant ces expériences, qu'il connaissait mieux que moi mon système.

Je n'introduis point de nouveaux frottemens; j'éprouve aussi, il est vrai, celui entre les coussinets et le collet de l'essieu; mais je supprime celui entre les rebords des roues, *extrémité du levier*, contre leurs rails, qui augmente avec la vitesse, la charge, le diamètre des roues et la hauteur de leur collet.

mais il pense que les chariots ayant, par suite de l'exagération des roues extérieures, une tendance à rentrer dans le cercle, cette tendance combattra la force centrifuge qui tend à les en faire sortir.

» Le sieur Laignel, craignant que ce dernier moyen ne soit pas suffisant pour résister à la force centrifuge, soulève, en outre, de 0,042 le rail extérieur, et donne ainsi aux points d'appui du chariot une inclinaison en travers.

» Tel est, en général, le procédé du sieur Laignel.

Cette élévation n'est pas partout la même; elle n'est quelquefois que de 0,027 : *je l'ai établie d'abord pour faire équilibre à l'action centrifuge causée par la conicité de la jante de la roue intérieure*, et parce que je voulais joindre, à la certitude de courir sans pression latérale une sûreté de plus, afin de ne pas être exposé à quelques inconvéniens dans les premières expériences de démonstration du système. Il se peut qu'elle soit encore de quelque secours, mais elle est loin d'approcher de celle employée dans les chemins de fer actuels, même avec des rayons cent fois plus grands.

» Le chemin se composait 1° d'un cercle horizontal de 34-75 de rayon moyen, c'est à dire compté du centre au milieu de la voie;

» 2°. D'une ligne droite, presque horizontale, de 150 mètres de longueur, dirigée tangentiellement au cercle;

» 3°. D'une grande ligne droite, inclinée de 270 mètres, se raccordant au cercle, au moyen de deux portions de lignes droites, de 111 mètres de longueur en pente.

» La voie présentait 1,565 de largeur *entre les* deux rails, sur la

Il y a erreur dans les dimensions de la largeur des voies; dans la ligne droite elle est de 1,545, et dans le cercle de 1,530. La Commission a pris le bord intérieur de la plate-bande pour le milieu où passe le collet des roues.

Si la Commission m'eût laissé développer mon système, et laissé faire quelques expériences, elle eût appris qu'avec le rayon composé nécessité par le parallélisme et la distance des essieux, les chariots n'avaient pas besoin de rebords pour se maintenir dans la voie, même avec des vitesses de six lieues à l'heure.

L'absence de ce rebord était pour prouver son inutilité, et pour bien

ligne droite, et 1,516 de largeur entre les deux rails sur le cercle.

» Le rail intérieur n'était pas garni d'une bande de fer en saillie, destinée à maintenir le chariot dans la voie ; il n'y avait, pour remplir cet objet, qu'un léger surhaussement de la semelle de bois.

» Les roues des chariots avaient 0,694 de diamètre moyen pris sur les saillies, et 592 de diamètre moyen mesuré sur la gorge ; les essieux avaient 0,08 de diamètre sous les collets.

» Les essieux des chariots étaient séparés de 0,098 ; les chariots dans les convois étaient attachés les uns aux autres d'arrière-train à avant-train, les cordes qui les réunissaient s'attachaient aux châssis et partageaient les essieux en deux parties.

» Pour apprécier les *avantages du système*, on résolut 1° de chercher la valeur du frottement qui se produisait pendant le passage des chariots dans les courbes ;

» 2°. D'examiner jusqu'à quel degré de vitesse on pourrait passer sur les courbes sans danger.

» Pour arriver à la connaissance du frottement, on fit marcher successivement 1, 2, 4, 9 chariots, d'abord à vide, puis avec des chargemens *sur la ligne droite et sur le cercle*, et l'on compara les forces qu'il fallait employer pour tirer ces convois, d'abord avec de petites vitesses, puis avec de plus grandes.

jusqu'au moindre soupçon de
cours, ainsi que des frottemen
les collets des roues et les rails.

Mais la Commission a évité
convaincre ; car, dans les vingt-
heures qu'elle apprit que je l'a
disparaître, le sieur Defontaine
clara par écrit qu'elle ne voul
faire d'expériences.

Il y a là encore erreur ; le
ont 0,626 de diamètre sur la sa
0,587 sur la jante.

Beaucoup de chemins de fe
qu'un mètre de distance entre
sieux de leurs chariots ; si le
n'ont que 0,984, c'est que les c
tiers ne se servent que du pied-

Il faut ici redoubler d'attent
ces valeurs de frottement v
données par l'instrument-Rauc
les causes de danger supposé
de la voie vont être sans dou
loppées.

Je dois faire remarquer qu
Commission change la questio
ne s'agissait pas de comparer le
courbes de mon système avec d
droites, mais bien avec les plu
courbes du système actuel, qu
5 à 600 mètres de rayon.

Dès lors toutes les expérie
ont été faites peuvent être de
intérêt pour les sciences ; mais
tout à fait inutiles pour la pr
l'industrie, d'autant plus qu
été faites en parcourant entièr
cercle, et en y prenant la vite

» Les forces de traction étaient, ur chaque expérience, mesurées r *le cercle et sur la ligne droite,* l'augmentation de traction qui ait lieu sur le cercle se déduisait rapport de ces deux forces.

moyens contraires à la pratique.

La ligne droite ne devait point du tout être en relation dans ces expériences ; la Commission devait établir les valeurs de traction sur les courbes de 500 mètres, système actuel, qu'elle a dû et pu se procurer par les ingénieurs des chemins de Saint-Étienne, etc., et les comparer avec celles de mon système.

Voilà ce que je demandais et ce qu'exigeait l'intérêt général ; car, quand bien même la différence de traction entre ce petit cercle et la ligne droite serait cent fois plus considérable, on ne serait nullement avancé, puisque celle du système actuel serait ignorée.

Mais pour faire voir combien les valeurs de traction mesurées suivant le rapport des expériences, sont peu fondées, j'en produis ici une qui a été faite sur le chemin de la Loire, par les ingénieurs MM. Mellet, Henry et Perdonnet.

Il en résulte que, tout étant égal, charge, vitesse, moteur, rampe ascendante de 0,005, le même chariot a exigé une traction de 15 *kilogr.* sur une courbe au *rayon de* 28 *mètres* (système nouveau), et 30 *kilogr.* sur celle de 100 *mètres de rayon* (système actuel), c'est à dire une *traction double pour une courbe environ trois fois plus grande* (Bulletin technologique, juillet 1832, signé *Perdonnet*, ing. des mines).

Les ingénieurs existent, et je sais qu'ils en eussent fait de même pour une courbe au rayon de 500 mètres, si on l'eût désiré. Ainsi, à défaut d'autres, cette expérience peut nous servir de base, et doit faire juger la valeur de celles faites par la Commission.

» Pour examiner les vitesses qui ıvaient être données sans inconıient sur les courbes, on obser*la tendance* des chariots à sorde la voie dans les différentes

Peut-on admettre une tendance à sortir de la voie dans une chaîne de huit à neuf chariots, après avoir fait chacun quatre à cinq lieues de parcours en courbes au rayon de 35 mètres, avec une vitesse de 4, 5 et 6 lieues à l'heure,

circonstances de direction et de vitesse.

sur une plate-bande sans rebord extérieur, quand pas un d'eux n'a pas même dévié de 2 ou 3 millimètres ?

S'il y eût eu rebord au rail extérieur, on pourrait supposer qu'il a arrêté ou redressé cette *tendance ;* mais heureusement son absence retire jusqu'au soupçon, partant il faut regarder cela comme une *vision*.

» Un journal des expériences fut ouvert pour contenir les résultats des observations.

» Ces observations se faisaient avec le plus grand soin, on avait l'attention de ne pas compter la traction qui avait lieu pendant les premiers mètres de la mise en mouvement, et pour vaincre l'inertie on donnait, pour les expériences à la vitesse du pas, un élan de 15 mètres au moins, pendant lesquels ils n'était rien compté ; dans les expériences au trot et au galop, on ne comptait plus le premier tour du cercle qui était consacré à prendre de la vitesse ; de même on avait bien soin de ne pas comprendre dans les observations les derniers instans de la course.

On a mis plutôt le plus grand soin à produire des résultats désavantageux au cercle, 1° en prenant le point de départ dans le cercle, au lieu de sortir d'une ligne droite avec une vitesse acquise, comme cela se pratique ; 2° en parcourant, au lieu d'une partie de cercle, un cercle entier, ce qui ne se rencontre jamais ; 3° en comparant les valeurs de traction et de vitesse de ce petit cercle avec celles de la ligne droite.

» Quant aux instrumens employés pour faire les observations, ils méritaient la plus grande confiance.

» Le temps était mesuré avec un compteur de M. Robert, les poids étaient pris avec les phortomètres de M. *Raucourt*, et la traction avec l'ACTIOMÈTRE construit par les soins du même ingénieur.

Je n'élève aucun doute sur l'instrument-Robert ; mais on doutera, avec moi, du mérite de ceux de l'invention de M. Raucourt, dont le *phortomètre* a donné plusieurs fois une valeur de poids plus forte, tout en diminuant la charge (j'ai témoins dignes de foi), et lorsqu'on aura jeté les yeux seulement sur les dix premières expériences, auxquelles j'en ajoute quatre autres, comparées entre elles.

» Ces deux derniers instrumens avaient été composés pour faire les expériences ordonnées par M. *Legrand, directeur général* des ponts

Voici les dix premières expériences :

N° 1. 18 p. o/o en plus sur le cercle.
— 2. 6 p. o/o *id.*
— 3. 43 p. o/o *id.*

aussées, sur les routes et la
du roulage : *comme ils ne pas encore assez connus*, il pas inutile d'en donner ici lescription succincte, afin de partager l'opinion de la com- n sur la sûreté de leur indi-

N° 4. 57 p. o/o en plus sur le cercle.
— 5. 84 p. o/o *id.*
— 6. 26 p. o/o *id.*
— 7. 70 p. o/o entre deux expériences consécutives sur le cercle.
— 8. 54 p. o/o *id.*
— 9. 30 p. o/o *id.*
— 10. 26 p. o/o *id.*

En fallait-il davantage pour faire rejeter l'instrument.

Voici les quatre autres expériences:

Chariots.	Ligne parcourue.	Vitesse.	Charge.	Augmentation de traction pour cent.	
1	cercle.	5,508	2,400	73,24	226 p. o/o, même ligne.
»	cercle.	6,372	»	22,43	
»	droite.	5,364	»	68,91	240 p. o/o, même ligne.
»	droite.	6,408	»	20,25	
»	droite.	5,364	»	68,91	207 p. o/o en moins sur le cercle.
»	cercle.	6,372	»	22,43	
»	droite.	5,364	»	68,91	126 p. o/o en moins sur le cercle, et
»	cercle.	12,240	»	30,35	128 p. o/o de vitesse en plus.

quatre exemples nous font voir qu'il a suffi d'un léger intervalle pour tractions changeassent de plus de 200 p. o/o, soit entre les mêmes li- soit entre les différentes lignes.

ission des résultats des expé- riences.

e journal des expériences fai- r la Commission, pour l'exa- lu procédé du sieur Laignel, e, par les détails qu'il ren- , les soins minutieux qui ont portés pour arriver à la con- nce de la vérité.

En effet, le journal fait bien voir qu'on a pris beaucoup de soins, mais tous opposés au système; et, pour arriver à la connaissance de la vérité, il eût fallu d'abord avoir celle du système; et c'est ce que ne possédait pas la Commission. (*Voir* la Critique du sieur Navier dans les *Annales des ponts et chaussées*, novembre et décembre, et sa prière au lecteur de ne pas y croire, insérée dans les n^os^ de janvier et février derniers.) En outre, elle eût fait des expériences analogues à celles qu'on ferait sur un chemin de fer bien établi, mais non en

» Ces expériences ont conduit la Commission à des conclusions assez positives sur les circonstances qui produiraient *le danger de sortir de la voie*, mais elles n'ont pas donné des résultats assez concluans en ce qui concerne les frottemens de diverse nature, qui se développent sur les courbes du sieur Laignel.

» On est parvenu, pour la valeur totale des frottemens, à des résultats assez différens les uns des autres, et cette variation doit être attribuée à la nature du chemin et des chariots employés.

» Voici quelles étaient les dispositions de détail du chemin d'expériences.

» L'uniformité des pentes et la rectitude de la direction n'étaient pas rigoureusement observées, particulièrement *sur la ligne droite* ; la largeur de la voie n'était pas toujours exactement la même ; le chemin avait été simplement posé sur le sol dans les remblais comme dans les déblais ; les rails se composaient d'une bande de fer fixée avec des vis dans la semelle de bois; les têtes de ces vis, plus ou moins saillantes, présentaient des aspérités à la rencontre des roues ; plusieurs de ces parcourant un cercle entier, etc., etc.

D'où peut-on conclure ce danger si positif de sortir de la voie? Le rapport lui-même démontre l'erreur de la Commission ; car, sur près de cent fois, le parcours d'un cercle entier, faisant ensemble plus de 16,000 mètres *au pas, au trot et au galop*, pas un des huit et neuf chariots n'est sorti de la voie, quoique le rail extérieur fût sans rebord, et les chariots formassent une chaîne de quinze par leur longueur et l'écartement entre eux, soit presque un tiers de la circonférence du cercle.

Comme ce chemin était composé d'une longueur de 370 mètres, seulement, en cercle et en lignes droites, que toutes les expériences n'ont été faites toujours qu'en parcourant cette même longueur de 220 mètres en courbe et 150 en ligne droite, que les chariots sont construits d'une manière invariable, il en résulte que ces variations, indiquées dans le journal, n'en proviennent pas, mais bien plutôt de l'instrument, qui, de sa nature, est très variable ; et, d'ailleurs, les résultats le prouvent.

Je veux bien, pour arriver plus tôt aux faits, convenir de toutes ces imperfections, qui m'assimilent parfaitement aux chemins de fer après quelques mois d'exploitation ; cependant on croira sans peine que toutes ces imperfections n'existaient pas seulement sur la ligne droite, qui, de bonne foi, ne devrait pas figurer ici, et où, d'ailleurs, ces imperfections sont de peu d'effet ; mais que le cercle était dans le même état, avec ces différences, que les remblais y étaient plus considérables, que les fers de la plate-bande n'avaient que 0,006 d'épaisseur, au lieu de 0,009, que cette bande était parcourue non par la zone des jantes, mais bien par le collet tranchant des roues ; conséquemment le frottement, indiqué par Wood et invoqué par le rapporteur, devait être

vis avaient été enlevées, et laissaient à la bande de fer la facilité de se détacher de la semelle; et de se soulever entre les passages des chariots; les bandes de fer étaient placées bout à bout sans être parfaitement effleurées, de telle sorte que le passage de l'une à l'autre se faisait sentir par un léger heurt; les bandes étaient plates au lieu d'être bombées, ce qui, d'après Wood, augmente le frottement dans le rapport de 33 à 28.

» En second lieu, les chariots présentaient eux-mêmes de *nombreuses irrégularités* de construction; les essieux, au lieu d'être parallèles, avaient entre leurs axes des distances qui, mesurées des deux côtés, donnaient des différences, s'élevant, pour quelques uns, jusqu'à 0,009; les châssis étaient mal assis sur leurs essieux, et les collets, glissant quelquefois en longueur, jusqu'en dehors des gorges, produisaient, à la surface des essieux, des frottemens très irréguliers : quelques expériences ont même été rejetées, parce qu'on avait remarqué, pendant leur durée, ce déplacement des collets.

dans un plus grand rapport que celui sur la ligne droite.

Et j'ajouterai que, puisque ce dernier paraît avoir lu quelques ouvrages traitant des chemins de fer, il aurait dû savoir que les chariots ont généralement en longueur 2,50 environ, tandis que la moitié des miens ont 3^m, 90; ainsi, c'est à tort que notre dit rapporteur les a qualifiés de petits.

Ces nombreuses irrégularités se bornent, comme l'on voit, à deux ou trois, encore ne sont-elles nuisibles que dans les courbes, et ces différences de distances des axes, d'un côté à l'autre, de 0,009 n'ont été reconnues que sur deux chariots. C'est un défaut, j'en conviens, qui peut être avantageux dans un sens; mais ce que ne dit pas le rapport, pour la connaissance de la vérité et pour faire voir ma bonne foi, c'est que j'ai fait tourner bout pour bout tous les chariots, et alors, si 0,009 étaient favorables en convergence, ils devenaient bien autrement défavorables en divergence. Le rapport laisse ignorer que les expériences, en ce dernier sens, sont aussi nombreuses qu'en convergence.

Tous les autres défauts dans la construction des chariots ne sont, à considérer, nuisibles que dans le cercle; car, dans une ligne droite, les coussinets sont en harmonie avec les essieux, tandis que dans un cercle ils veulent aller droit, en même temps que les essieux sont contraints de prendre une autre direction par la marche des roues. Quant aux expériences rejetées, la cause vient de ce que ce déplacement n'avait lieu que dans le cercle. Mais que la Commission veuille nous dire franchement la cause réelle du rejet de cinq expériences doubles, entre les

» Les châssis, trop faibles pour les chargemens transportés ordinairement sur les chemins de fer, ne pouvaient supporter, sans fléchir, un poids qui ne s'élevait qu'à deux tonnes, et cette flexion, en forçant les collets et faisant porter les clavettes, augmentait encore la traction.

» A ces causes d'augmentation et de variations dans les frottemens observés, s'ajoute cette circonstance, que d'une expérience à l'autre on pouvait graisser ou ne pas graisser les roues, serrer ou desserrer les clavettes, modifier, en un mot, les causes de frottement, de manière à empêcher les expériences d'être comparables.

n^os 11 et 17, plus celles 33 et 34, qui provient, avoue-t-on, de l'instrument. Ce rejet n'est-il pas une nouvelle preuve de sa défectuosité?

Toute personne impartiale, et qui sait que la charge ordinaire des chariots est de trois tonnes, aurait trouvé suffisante, par des expériences, la charge des deux tiers; et, dans l'état que suppose le rapport, les causes de la valeur de traction devaient encore être plus considérables dans le cercle.

Le rapporteur, trouvant ses raisons trop faibles pour persuader, a recours à des suppositions. D'abord, je demanderai comment il fallait faire pour éviter le soupçon *de graisser* ou *ne pas graisser* les roues, serrer ou ne pas serrer les clavettes? Ensuite, aurais-je pu savoir ce que je faisais, puisque rien ne m'était communiqué; et, même dans cette supposition, ne pouvait-on pas alors changer les dispositions de manière à faire tourner les expériences contrairement à mes précautions et intentions?

Mais ce soupçon, jeté si inconsidérément, ne m'autorise-t-il pas à en élever un autre, par suite de la manière cachée avec laquelle les sieurs Tarbé, Desfontaine et Raucourt ont agi à mon égard, surtout si l'on vient à savoir qu'on m'avait itérativement refusé de me faire accompagner par qui que ce soit, pas même d'un inspecteur divisionnaire, précédemment chargé par le gouvernement de plusieurs missions concernant les chemins de fer? Ne peut-on pas aussi supposer que c'était pour éviter toute observation et réclamation, et arranger les choses comme on l'entendrait? En effet, ne m'a-t-on pas refusé la vue de cet instrument inconnu? ne m'a-t-on pas refusé de prendre note, chaque jour, de ses résultats? Enfin, la manière de procéder n'a-t-elle pas été si manifeste, qu'elle a révolté

Aussi, en examinant avec at-
ion le journal des expériences,
vē-i-ōn quelques anomalies
ne se seraient pas montrées si
avait pu faire entrer en ligne
ompte les variations de frotte-
t tenant à des causes particu-
s.

tous les spectateurs, et même un confrère, ingénieur des ponts et chaussées, qui, d'humeur, s'est retiré, après leur avoir dit que les expériences qu'on faisait n'étaient propres qu'à l'instrument-Raucourt, et nullement convenables au système-Laignel.

Les causes particulières des variations de frottement tiennent absolument à l'instrument, dont la défectuosité est constatée à chaque résultat, comme le démontre le tableau précédent.

ais il y a bien de la modestie ou de la générosité, de la part de la Commis-
à n'accuser que quelques anomalies; moi j'en compte vingt-quatre, parce
n'y a eu que vingt-quatre résultats produits par la comparaison du cercle
la ligne droite. Prenons, par exemple, la vingt-deuxième expérience, qui
ne la plus favorable traction, et, par conséquent, la moins éloignée de la vraie.

SÉRIES.	NUMÉROS des Expériences.	CHARGE.	VITESSE.	TRACTION TROUVÉE.	TRACTION COMPARÉE.	VALEUR de l'augmentation de traction p. 0/0.
	22	2,400	6,372	22,43		
	29	7,519	17,064	174,27	70 kil.	140
	28	7,519	16,884	168,41	70 p. 0/0	»
	27	7,518	13,428	170,96	70 »	»
	26	7,519	6,444	161,17	70 »	»
	25	5,769	6,120	107,91	53,91	100
	24	5,769	13,608	103,38	53,91	100
	23	2,400	12,240	30,85	22,43	35
	21	874	6,444	10,67	8	33
	20	2,400	5,112	61,48	22,43	174
	19	879	5,688	19,57	8	144
	18	7,999	8,490	152,30	74,76	100
	17	7,999	5,761	158,31	74,76	100
	11	874	5,868	10,90	8	36
	10	5,760	5,652	109,14	53,83	100
	9	2,400	10,476	68,36	22,43	220
	8	2,400	5,508	70,24	22,43	226
	7	4,322	5,508	63,85	39,40	62
	6	4,322	5,580	55,35	39,40	45
	5	2,207	5,584	27,11	20,64	30
	4	1,247	6,120	17,49	11,65	50
	3	633	5,220	10,74	5,91	82
	2 et 1	879	5,508	18,24	8,20	122

ais, si l'on considère chacune des tractions dans la même ligne, ce qui est
régulier, il en résultera une moisson bien autrement abondante; car, en
en tenant seulement aux deux expériences 5 et 6, nous trouverons six
nalies.

Expérienc.	Charge.	Vitesse.	Traction.	Lignes.	Différence
5	4,322	5,508	44,64	cercle. ..	43 p. o/o.
6	4,322	9,570	63,85	»	
5	4,322	5,704	30,32	droite....	72 p. o/o.
6	4,322	11,304	52,24	droite....	
5	4,322	5,704	30,32	droite.....	50 p. o/o.
et					
5	»	6,480	45,30	droite. ...	
6	»	12,312	38,02	droite. ...	37 p. o/o.
et					
6	»	11,304	52,24	droite. ...	
5	»	5,508	44,64	cercle. ...	27 p. o/o.
et					
5	»	5,580	56,35	»	
6	»	11,376	49,47	cercle.....	26 p. o/o.
et					
6	»	9,540	63,85	»	

Remarquons bien que les valeurs des tractions comparatives entre mêmes lignes sont, sur les lignes droites, plus élevées de moitié que s cercle, et même presque doublées.

6 et 6 26 p. 100 dans le cercle.
6 et 6 37 » dans la ligne droite.
5 et 5 27 p. 100 dans le cercle.
5 et 5 50 » dans la ligne droite.

Ces expériences étant successives, par conséquent ni le moteur, charge, ni le chemin, ni l'atmosphère, n'ont pu changer ni influencer s résistances.

Mais voici plus fort : c'est un chariot seul qui, avec sa charge, pè tout 2,400 kilog.

Nos des expér.	Vitesse.	Charge.	
8	5,508	2,400	54 p. o/o.
9	10,476	»	30 »
20	5,112	»	13 p. o/o en moins sur le cercle.
22	6,372	»	11 » en plus.
23	12,240	»	40 » »

Voudra-t-on bien nous dire si, dans ces cinq expériences, il y en a u *bonne, et* nous désigner laquelle?

» Cependant on peut tirer parti de ce tableau général des expériences *en employant celles d'entre elles que les circonstances ont rendues comparables*. Ainsi, si l'on examine la différence de traction obtenue sur la ligne droite et sur le cercle par les chariots essayés à vide et avec la vitesse du pas, on trouve que l'augmentation de traction sur le cercle est,

Dans la 1re expérience, de 18 p. o/o.
Dans la 11e » de 24 »
Dans la 21e » de 14 »

»Ces nombres, peu différens entre eux, peuvent être considérés comme l'augmentation réelle de traction, ayant lieu pendant ces expériences, d'autant plus que leurs valeurs numériques, mesurées pour ces trois cas semblables, diffèrent peu les uns des autres.

Où sont donc ces expériences comparables entre elles? Les tractions particulières de chaque ligne ne l'étant pas, on ne peut les prendre pour point de comparaison entre les deux lignes.

Ce paragraphe ajoute aux motifs déjà établis de rejet de l'instrument, et à la connaissance de nouvelles erreurs de la Commission.

Voici comment le journal même expose les expériences.

Expériences.	Charges.	Traction.	Augmentat. de traction.	
1	633 k.	11,81	18 p.°/o	Y a-t-il quelque soupçon de comparaison entre ces trois indications, surtout entre la première et la troisième ?
11	879	10,90	24 p.°/o	
21	874	10,67	14 p.°/o	
				AJOUTONS :
19	879	19,57	13 p.°/o	Même charge et même vitesse ; or,
11	879	10,90	24 p.°/o	
				19,57 : 13 : : 10,90 : = 7,24 ou 10.90 : 24 : : 19,57 : 43.

» Lorsque l'on considère des poids plus forts, les valeurs d'augmentation de *traction* sur le cer-

Le rapporteur a bien choisi, il faut l'avouer.

Ceci est rationnel et incontestable. Pourquoi donc le rapporteur, qui raisonne si bien, prouve-t-il si mal et si contrairement à ce qu'il avance?

cle deviennent aussi plus considérables, bien que la loi suivie par cette augmentation ne se manifeste pas, par suite des irrégularités dans les chemins et dans les chariots, dont on a parlé précédemment. Ces valeurs de l'augmentation de traction s'élèvent jusqu'à 47 et 54 p. 0/0 dans les expériences 24 et 8 relatives à des chargemens marchant au pas.

Car si, n° 8, 2,400 kil. produisent 54 p. 100 d'augmentation, pourquoi, n° 24, 5,769 kil. ne produisent-ils que 47 p. 100?

C'est le journal qui parle, et ce sont les deux expériences invoquées par le rapporteur.

Ajoutons pour l'éclairer, ainsi que le public :

Expériences.	Charges.	
5	4,322 k.	Donnent 34 p. 0/0.
10	5,760	Donnent 26 p. 0/0.
17	7,999	Donnent 18 p. 0/0.
20	2,400	Donnent 13 p. 0/0 *en moins sur le cercle.*
22	2,400	Donnent 11 p. 0/0 en sus.
26	7,519	Donnent 26 p. 0/0 en sus.

Pas une des expériences de poids plus fort, ni même de poids égal et au pas ne vient confirmer son assertion.

» On peut expliquer cette augmentation de traction sur le cercle, quand les chargemens augmentaient, en considérant que le sieur Laignel avait donné au rail extérieur de son cercle un surhaussement de 0,0426 sur le rail intérieur. Le chariot se trouvait donc sur un plan incliné transversal, et pour les mêmes vitesses, le frottement sur les rails extérieurs pouvait augmenter avec le poids du chargement.

Ce paragraphe, fort juste en principes, est démenti par les faits; et je crois que nous pourrions passer outre, sans être soupçonnés de ne pouvoir le rétorquer. Au surplus, nous en laissons le soin au précédent article; et nous pourrions dire seulement que la valeur de traction n'augmente pas avec la charge, s'il faut en croire l'instrument, et qu'au contraire elle a sensiblement diminué.

Mais le rail intérieur n'était point frotté intérieurement, pas même en raison de la charge au pas; et M. le président l'a reconnu lui-même, ainsi que, plus tard, le Comité des arts mécaniques de la Société d'encouragement: et, d'ailleurs, je le demande, la cause serait-elle venue de ce surhaussement,

ou bien plutôt de la manière dont les chariots étaient disposés?

Sur la chaîne de huit chariots on ne tenait chargés que le premier et le dernier, laissant vides ceux intermédiaires; cette chaîne ne devait-elle pas se roidir comme une corde tirée par les deux bouts, et se serrer fortement contre le rail intérieur, et, par suite, causer un frottement capable de diminuer la vitesse? Cependant, j'ai beaucoup insisté pour faire répartir la charge, mais en vain, puisqu'on ne me considérait que comme simple spectateur.

C'est ici le moment de dire que, précédemment à cette réclamation, j'en avais fait une autre lors du chargement trop lourd sur mes chariots, dont deux grands de 12 pieds de long, ont été cassés, et deux autres, de même dimension, fortement endommagés, puisqu'ils ont continué les mêmes expériences avec la charge de ceux qu'on venait d'abandonner.

Cette réclamation, toute juste qu'elle était, a été accueillie de ces mots, lancés par M. de Fontaine devant le public : *M. Laignel, vos paroles sont inutiles!*

Cette augmentation de traction généralement en diminuant d la vitesse augmente. Ainsi :

34	p.	o/o	au pas devient	26	au trot	5 et	6
54		»	»	30	»	8 et	9
18		»	»	8	»	17 et	18
47		»	»	18	»	24 et	25
26		»	»	17	au galop	26 et	28
179				99			

80 *en moins suivant le rapport et* mparaisons du journal. (*Observation de M. Laignel.*) --

s rédacteurs du rapport jouent de malheur dans le choix de leurs preuves; s prennent toujours dans la différence des deux lignes, tandis qu'au con- e c'est la traction causée par chaque course de chariot qu'il faut adopter, journal les indique ainsi :

Expériences.	Vitesse au pas	Valeur de la traction.	Vitesse au trot.	Nature de la traction.	Au trot. Différences de la traction en sus.	Au trot. Différences de la traction en moins.	Balances des tractions.
5	»	50,49	»	»	»	»	
6	»	»	»	56,66	6,17	»	
8	»	73,24	»	»	»	»	
9	»	»	»	68,35	»	4,89	
17	»	158,31	»	»	»	»	
18	»	»	»	152,30	»	6,01	
24	»	107,91	»	»	»	»	
25	»	»	»	103,85	»	4,06	
26	»	161,57	»	»	»	»	
27	»	»	»	170,49	8,92	»	
					15,09	14,96	0,13
					Diff. au trot.	0,13	
						15,09	

Cette différence de 0,13, en plus au trot, peut-elle s'appeler diminution? expériences prouveraient seulement que les valeurs de traction n'augmenten ne diminuent avec les variations de vitesse.

Mais ce dont la Commission ne s'est pas aperçue, c'est le tour que lui a j l'instrument, en lui désignant par comparaison entre les deux lignes une ap rente diminution de valeur de traction dans le cercle, quand il lui a donné contraire, une augmentation sensible dans la ligne droite.

Au pas.	Revient.	Au trot.	Expériences.
37,81	»	45,13	5 et 6
47,59	»	52,50	8 et 9
133,68	»	141,10	17 et 18
73,18	»	87,34	24 et 25
128,06	»	144,35	26 et 28
420,32		470,42	

50 kil. 10 en plus sur la ligne droite.

» Il y a bien quelques expériences qui viennent contrarier cette loi, mais elles sont en petit nombre.

» Cette loi de moindre frottement dans le cercle, quand la vitesse augmente, est d'ailleurs tout à fait rationnelle pour les limites de vitesse dans lesquelles on a opéré ; en effet, le surhaussement de 0,0426, donné par le sieur Laiguel au rail extérieur sur le rail intérieur, plaçait ce chariot sur un plan incliné en travers, et la vitesse pour laquelle l'inclinaison de ce plan aurait permis à la force centrifuge de faire équilibre à la pesanteur se trouve, par le calcul, être de $3^m,11$ par seconde, ou de 11,196 par heure ; or, au trot on n'a quelquefois pas atteint cette vitesse, et on ne l'a jamais de beaucoup dépassée au galop ($17^m,000$); il pourrait y avoir, par la vertu même de ce plan motivé, un frottement sur le rail intérieur, frottement d'autant plus grand, que la vitesse était moindre, et ce frottement latéral s'ajoutait au frottement de

Ainsi, suivant le rapport des expériences indiquées par lui, il y aurait pour le moteur, dans le cercle, une diminution de 80 kil. de traction au trot, ce qui n'a pas lieu, mais bien une augmentation de 50 kil. de traction dans la ligne droite, ce qui est bien différent.

Qu'on vienne donc, après ces preuves, nous offrir cet instrument comme méritant toute confiance, et s'en servir pour juger un système nouveau ! Il n'est pas difficile maintenant de deviner les raisons qui en font refuser la vue et l'examen.

Le rapport a déjà été tant de fois contredit, que nous pouvons bien nous contenter de son aveu.

Cette loi rationnelle ne peut être appliquée ici, puisqu'il est prouvé qu'il n'y a point de diminution de traction dans le cercle, mais bien une augmentation dans la ligne droite. — Conséquemment le surhaussement ne pouvait avoir d'autre destination que de maintenir les chariots dans la voie, et si l'on veut pour faire équilibre à la force centrifuge jusqu'à la vitesse de 11,196 mètres à l'heure, *et à la conicité de la jante de la roue intérieure.*

Quoi qu'en dise le rapport, où il est avoué une vitesse de 17,064 mètres, celle de 11,196 est de beaucoup dépassée aux yeux de l'impartialité, et la Commission ne doute pas qu'elle ne puisse être bien autrement plus considérable, ce dont elle eût elle-même acquis la certitude, si elle eût bien voulu l'essayer avant de commencer les expériences, au lieu de le faire à la fin, lorsque les chevaux étaient tellement fatigués que M. de Fontaine lui-même proposait de leur faire boire du vin, ce que je me disposais à faire lorsqu'il donna l'ordre de partir. Ainsi, ce n'est pas moi qui ai reculé devant les moyens d'obtenir une plus grande vitesse ; elle a eu lieu plus tard devant le Comité des arts mécaniques de la Société d'encouragement.

même nature, et résultant de l'adoption, par le sieur Laignel, *du rayon moyen de* 34,75, *au lieu du rayon de* 22,77, *calculé* d'après la différence des roues, et qu'il appelle *rayon théorique ;* au delà de la vitesse de 3,11 par seconde, la force centrifuge n'était plus combattue que par la pression résultant d'un emploi d'un rayon plus grand que le rayon théorique, et cette pression eût été bientôt dépassée par la force centrifuge, qui eût *probablement* jeté les chariots en dehors des rails, si l'on avait pu se procurer une vitesse assez considérable ; aussi, pour la vitesse la plus grande qu'on ait pu donner dans le cercle avec des chevaux au galop, vitesse qui s'est trouvée de 17,000 mètres environ par heure, il a été constaté que les chariots avaient fortement attaqué et déchiré en plusieurs endroits le surhaussement extérieur en bois, qui dépassait la plate-bande en fer.

» Outre ces *éclats* enlevés de distance en distance, sur la circonférence du rail extérieur, il a été remarqué dans la 29e expérience qui fut faite pour éprouver *ce qui arriverait, si* au lieu d'*acquitter la vitesse sur le* cercle et qui a constaté 22,000 sur le petit cercle, ou 23,000 sur celui extérieur, et sans toucher latéralement le rail intérieur, celui extérieur étant sans rebord, ce qui détruit tout l'échafaudage de frottement latéral sur lequel revient la Commission : et, quant à l'adoption du *rayon de* 34,75 *au lieu de celui de* 24,56, et non de 22,77, la remarque de la Commission prouve de nouveau son ignorance du système, puisque c'est ce rayon seul qui permet aux chariots de se maintenir constamment au milieu de la voie sans secours d'aucun rebord; car, plus court, les chariots sortiraient de la voie, plus long ils frotteraient extraordinairement contre le rail intérieur.

Le rapporteur se trompe encore en accusant les chariots d'avoir attaqué le surhaussement extérieur en bois, j'en appelle au témoignage de M. Devillers, président, qui prenait lui-même la peine d'aller au devant des chariots, et de les accompagner pour s'assurer de ce fait, et m'a manifesté sa surprise de ce qu'il ne les voyait jamais y toucher. J'ajouterai que MM. Tarbé fils et Defontaine n'en ont pas fait de même, car ils n'ont jamais quitté le point de départ.

Mais la Commission eût rencontré la vérité en reconnaissant que c'étaient les pieds des deux chevaux attelés de front, dont l'un était au milieu de la voie et l'autre en dehors, qu'on avait encore de la peine à maintenir.

D'ailleurs encore, comme le cercle a été parcouru plus de cent fois en entier, et que, comme le déclare la Commission, il n'y a eu que plusieurs endroits d'attaqués, n'est-il pas plus probable encore que là le chemin était un peu plus étroit?

Ce léger écart des chariots est provenu du défaut de longueur du rail extérieur au sortir de la ligne droite qu'il était facile de corriger, ainsi que je l'ai prouvé, par des expériences nouvelles, devant M. le Président, en présence de MM. Binet, ancien directeur de l'Ecole polytechnique, et Mainiel, capitaine-

de s'échapper naturellement sur la tangente, on prenait de la vitesse sur la tangente, pour plier ensuite la direction à la courbure du cercle, que l'effort des chariots s'était porté sur la semelle de bois qui dépassait le rail extérieur et l'avait fortement comprimée sur une longueur assez grande.

» On remarque également, dans le cours des expériences, que, même pour une très faible vitesse, les chariots ne pouvaient se transmettre les uns aux autres le mouvement qu'on appliquait au dernier chariot du convoi sans se pousser les uns les autres hors des rails; et ce serait un grand inconvénient de ne pouvoir faire marcher un convoi en arrière, d'autant plus que la cause qui produit cette sortie des chariots, en reculant même au pas, les ferait sortir pendant le mouvement en avant, lorsqu'on voudrait modérer subitement la vitesse du moteur.

ingénieur des sapeurs-pompiers; j'en appelle encore au témoignage de M. le directeur général, devant lequel j'ai fait la première expérience, et la plus convaincante en ce genre. (M. Defontaine eut ordre de s'y trouver.)

Cette expérience consiste à pousser un chariot sur une rampe de 0,01 par trois et quatre hommes vigoureux, et à le lancer encore au moment où il va quitter la ligne droite pour entrer dans le cercle du rayon de 34,76, cercle sans rebord extérieur. Le chariot opère son changement de direction avec la plus grande facilité, et, par suite de l'impulsion qui lui a été donnée, parcourt, encore après, 100,120,130 mètres sur ce cercle horizontal sans rebord, et sans se déranger le moindrement. Cette expérience, que la Commission n'a pas voulu faire pendant sa mission, ne vient-elle pas détruire de fond en comble sa remarque, et ne constate-t-elle pas un système parfait de petites courbes?

La Commission a profité, pour établir ces faits, de ce que dans les expériences il n'y a pas de rebord extérieur, elle sait cependant bien que, dans la pratique, j'en prescris un, ainsi que le prouvent les chemins établis suivant ce système, et qu'en ce cas j'imite les ingénieurs dans l'emploi d'un parapet le long des quais, pour éviter les accidens; mais si la Commission n'était pas réellement montée contre le système, serait-elle excusable de ne m'en avoir pas suggéré l'idée dans l'intérêt général? Ainsi, avec une plate-bande à rebord, il n'y aura plus de crainte de voir sortir les chariots de la voie, les frottemens contre les rails ne peuvent être que très légers et courts, ces chariots étant si près d'y toucher, et en même temps si près de ne pas y toucher.

De ce paragraphe on peut tirer une autre induction peu bienveillante, la constante obstination à ne me rien communiquer qu'après que tout serait fini, afin de tirer parti, contre mon système, de toutes mes inadvertances, erreurs, et

» Pour revenir à l'évaluation des frottemens en prenant la moyenne entre les seconds résultats pour divers chargemens et diverses vitesses, contenus dans le journal des expériences, on trouve que la traction sur le cercle a été de 29 p. o/o plus forte que sur la ligne droite.

de mon peu de pratique dans les constructions!

D'abord, et il faut bien le répéter aussi, puisque la Commission s'obstine à l'employer, cette comparaison de la ligne droite avec le cercle entier n'est point du tout admissible; elle est bien éloignée d'éclairer le public sur ce qui l'intéresse le plus, la différence de vitesse et de *traction réelles* entre les deux systèmes de courbes, etc. Je pourrais et devrais même me contenter de cette raison irréfragable, pour faire rejeter tout ce rapport, comme ne remplissant pas le but désiré et convenu; car, messieurs les savans, ce n'est pas pour faire de la science que les Chambres vous ont donné 500,000 fr., mais bien de la pratique : cependant, je veux encore combattre la Commission, et prouver qu'elle se trouve toujours à côté de la réalité; et, si elle a reconnu des anomalies dans les valeurs de traction, elle a voulu alors, sans doute, désigner les tractions hors de toute supposition, celles dépassant 30 p. 100, et s'élevant à 47, 54, 57, et même 70 p. 100; d'autant plus que ces hautes tractions sont presque toutes à la vitesse du pas, qui n'est pas admise dans la pratique; conséquemment, en défalquant des vingt-quatre résultats les huit expériences de ces hautes tractions au pas, et qui donnent, suivant le tableau A, 48 p. 100, les seize autres ne s'éleveront plus qu'à 16 p. 100, suivant le tableau B.

Tableau A.

Expér.	Charges.	Tractions.
3	1,247 k.	43 p. o/o
4	2,207 »	57 »
5	4,322 »	34 »
7	879 »	70 »
8	2,400 »	54 »
23	2,400 »	40 »
24	5,769 »	47 »
27	7,519 »	38 »
	26,743 k.	383

Ainsi, $\frac{383}{8} = 48$ p. o/o.

Tableau B.

1	633 k.	18 p. o/o		
2	757 »	»	6 en moins.	
6	4,322 »	26 »		
9	2,400 »	30 »		
10	5,760 »	26 »		
11	879 »	24 »		
17	7,999 »	18 »		
18	7,999 »	8 »		
19	879 »	»	»	13 en moins.
20	2,400 »	13 »		
21	874 »	14 »		
22	2,400 »	11 »		
23	5,769 »	18 »		
26	7,519 »	26 »		
28	7,519 »	17 »		
29	7,519 »	29 »		
		278	19	
		A déduire..	19	
			259 pour 16 ex-	

périences, ce qui donne la moyenne de 16 p. o/o, tout en ne tenant pas compte des anomalies qui se présentent encore entre tous ces divers résultats.

9	2,400	30 p. o/o en plus sur le cercle.	
20	2,400	13 » en moins sur le cercle.	
22	2,400	11 en plus	
19	879	13 »	au pas.
11	879	24 »	

Il suffirait, d'ailleurs, que les valeurs de traction aient été neuf fois sur seize au dessous de 20 p. 100, pour admettre cette valeur comme la plus juste. Mais on voudra bien remarquer que, pour atteindre ces tractions, il a fallu parcourir un cercle en entier au lieu de parties de cercle, prendre la vitesse dans ce cercle au lieu d'une ligne droite, et faire la comparaison entre le parcours du cercle entier et celui d'une ligne droite, trois conditions diamétralement opposées à la pratique.

Le public, l'intérêt général, la science même se trouvent-ils bien satisfaits avec de pareilles expériences?

En admettant même réelles ces hautes tractions, le sont-elles plus que dans les courbes du système actuel en parcourant des cercles entièrement? Voilà la question pure et simple : il faut répondre.

» Cependant en remontant au détail des expériences, on doit remarquer que par suite de la faible longueur de chemins en ligne droite, on avait été forcé de compter comme exercés sur la ligne droite des frottemens qui avaient lieu sur le cercle ; en effet, la longueur de la ligne droite tangente au cercle n'était que de 150^{m}, et dans les grandes vitesses surtout, comme il fallait réserver une partie de cette ligne pour amortir le mouvement qui se trouvait réduit à une distance de 100 mètres qui se trouvait parcourue en moins d'une demi-minute, ce temps, déjà trop court pour les observations de l'actiomètre, eût été encore réduit à près de moitié, si l'on eût retranché de la ligne droite du côté du cercle la portion nécessaire pour recevoir le convoi à son entrée

J'admets ces raisons, et je les crois justes; je ferai une remarque que le lecteur a faite plus d'une fois, c'est le soin tout particulier de la Commission de plaider toujours pour la ligne droite, et de la faire considérer comme sans cesse sacrifiée, et placée naturellement ou partialement placée dans une plus mauvaise position que le cercle, ce qui est contre la nature des choses.

Mais si la Commission a droit de réclamer pour la brièveté de la ligne droite, en ai-je moins, moi, pour l'excessive et inusitée longueur d'un cercle entier? Et ici, faisons-le remarquer, la Commission vient, mais par distraction sans doute, nous avouer tout bonnement combien est défavorable au système nouveau le départ dans le cercle même; car, si la sortie du cercle est si contraire à la ligne droite, la prise de vitesse dans le cercle l'est encore bien plus pour la valeur de traction et de vitesse en parcourant un cercle entier.

dans la ligne droite ; le temps que le convoi employait à sortir du cercle fut donc compté comme appartenant à la ligne droite, et cette manière de prendre le temps, défavorable à la ligne droite dans tous les cas, l'était principalement lors des passages de longs convois.

» Une autre cause contribuait à donner aux tractions moyennes sur la ligne droite des valeurs trop considérables, les essieux, comme on l'a dit précédemment, n'étaient pas parallèles entre eux, dans un même chariot, et il en résultait que, bien que l'on prît la demi-somme des observations sur le cercle, la direction des essieux étant d'abord favorable au mouvement, puis ensuite défavorable, on pouvait avoir pour cette demi-somme une valeur approchant de celle que l'on eût trouvée sur le cercle, si les essieux eussent été parallèles; mais l'on avait toujours sur *la ligne droite*, en prenant la demi-somme des observations dans les deux sens des chariots, une traction augmentée de la quantité de frottement due au défaut de parallélisme des essieux.

» Ces deux motifs, en ajoutant à la valeur de la traction sur la *ligne droite*, rapprochant nécessairement de la valeur de la traction sur le cercle, diminuaient le rapport des deux tractions en augmentant *le plus faible*. Il est donc nécessaire d'augmenter le chiffre trouvé *précédemment* comme l'augmentation de traction sur le cercle ; et

D'abord, nous remarquerons tout l'intérêt que la Commission ne cesse de porter à la ligne droite : c'est l'enfant gâté; on a bien soin de lui. Cependant, toute imperfection doit avoir beaucoup plus d'influence dans le cercle, qui déjà subit une complication par sa nature, que dans une ligne droite, où les chariots jouissent d'une liberté entière de la part des roues et des essieux, même avec un jeu considérable dans leur sens longitudinal.

Ensuite, pour que la réclamation de la Commission fût fondée, il faudrait d'abord admettre que la convergence des essieux fût favorable au chemin construit aux Champs-Élysées : dès lors, la divergence non seulement eût été défavorable, mais elle devait sortir les chariots de la voie; il faudrait encore supposer qu'à chaque expérience les chariots auraient été tournés tous et à la fois en divergence, puis en convergence, et c'est ce qui n'a pas eu lieu : conséquemment; la remarque de la Commission s'en va rejoindre toutes les autres comme jouissant de la même considération.

L'estimation d'augmentation donnée par ce paragraphe ne nous présente que des mots ; car, comme la moyenne précédente est de 29 p. 100 *sur tous les résultats assez différens*, de même celle qu'on croit venir fixer, en la portant de 20 à 40 p. 100, devient 30 p. 100, ce qui diffère peu de 29 p. 100.

Mais considérons maintenant que, pour atteindre la moyenne de 29 p. 100, il a fallu la prendre dans tous les résultats, sans avoir égard

comme ce chiffre n'était qu'une moyenne entre *des résultats assez différens*, il paraît préférable de moins préciser sa valeur, et de dire que l'augmentation due aux frottemens, sur le cercle, a été trouvée de 20 à 40 p. 0/0.

1°. Aux incroyables anomalies à 40, 54, 87 et 70 p. 100;

2°. A la réunion des petites et grandes vitesses;

3°. Au parcours d'un cercle entier;

4°. A la vitesse prise dans le cercle;

5°. A la comparaison entre non seulement une partie de cercle, mais plutôt un cercle entier et la ligne droite.

Avec de pareilles conditions, est-il permis de prétendre à des résultats réels de traction? Nous ajouterons encore que dans l'exploitation des chemins il y a rarement même des quarts de cercle, mais bien des dixièmes, des vingtièmes, des cinquantièmes; que, rarement alors, il se trouverait plus de quatre à dix chariots à la fois en courbes, seulement pendant une ou deux secondes, et jamais un convoi en entier, avec la vitesse acquise en sortant en lignes droites; puis, représentons-nous maintenant dans le système actuel un convoi de quinze chariots parcourant quinze fois en longueur les mêmes parties de cercles au rayon de 500 mètres, mais avec des roues d'égal diamètre; et consultons un constructeur de chemins de fer, qui nous apprend dans son *Manuel du Constructeur de chemins de fer*, p. 97:

« Que le rayon de 500 mètres doit » être considéré comme le *minimum* » auquel on doive descendre pour l'é- » tablissement des courbes sur une » ligne générale de circulation; *encore* » *faut-il* disposer son tracé de ma- » nière que ces courbes soient entremê- » lées de lignes droites; car, lorsque plu- » sieurs courbes de 500 mètres se sui- » vent sans interruption, il se produit » une augmentation sensible de résis- » tance. »

C'est ce qui arrive encore lorsque le développement de la courbe est considérable.

CONCLUSIONS.

» Des faits contenus dans le présent rapport, et relatifs au passage des courbes de 34,75 de rayon moyen, construites d'après le procédé du sieur Laignel, on doit tirer les conclusions suivantes :

» 1°. En ce qui touche l'augmentation de frottement pendant le passage des courbes ; que, pour le chemin et les chariots mis à la disposition de la Commission, l'augmentation moyenne de frottement est de 20 à 40 p. o/o ; mais que, pour des chariots et un chemin exécuté avec tout le soin qu'on pourrait y mettre, on eût probablement trouvé une autre valeur pour cette augmentation, surtout si la distance entre les essieux eût été plus considérable, et telle qu'on la rencontre dans les chariots en activité.

Ainsi, parce que les chariots et le chemin seraient plus parfaitement construits, la valeur de traction et des frottemens augmenterait ! Voilà un paradoxe auquel, sans doute, le lecteur ne s'attendait pas, ou bien le rapporteur n'a pas osé émettre toute sa pensée, *que le perfectionnement n'aurait lieu que dans la ligne droite.*

Mais ces imperfections, loin de mériter un blâme, doivent, au contraire, être approuvées dans les circonstances où nous nous trouvons, *qui sont des expériences*, puisqu'elles mettent ce matériel plus semblable à l'état de celui d'un chemin, après quelques mois d'exploitation.

Ensuite l'instrument dont on s'est servi a-t-il donné des résultats propres à inspirer assez de confiance? Et enfin la comparaison entre ce petit cercle et la ligne droite est-elle celle qu'on devait chercher ?

Quant à la distance entre les essieux, celle des chemins en France n'en diffère guère.

De Saint-Etienne à Andresieux elle est de..... 1 m.

D'Andresieux à Roanne, de. 1 m.

De Saint-Etienne à Lyon, de 1 m.,10,

Sur mon chemin elle est de 0,984, parce que les charpentiers se sont servis du pied-de-roi, au lieu du mètre.

La distance de 1 m. 10 c. aurait nécessité une augmentation de 1 m., seulement dans le rayon, pour que tout fût en harmonie.

» 2°. En ce qui concerne le danger de sortir de la *voie*, *lorsque le rail extérieur ne présente pas un obstacle à la saillie des roues ;* que ce danger se présente immédiatement pour les moindres vitesses, *lorsque le moteur*, à la tête du convoi, *pour le tirer en avant*, agit en

La réponse à cette conclusion est toute simple : *il y aura un rebord ;* mais ici on voit toute la bienveillance de la Commission, en faisant supposer que le système ne permet pas l'emploi d'un rebord. Ils n'en ignorent pas cependant; car je leur ai bien expressément déclaré que, seulement dans les expériences, je n'en employais pas pour prouver que le système pouvait

sens contraire pour le faire reculer ou pour amortir la vitesse.

» 3°. Que, dans ce mouvement régulier, en avant, les courbes peuvent être parcourues sans danger pour les vitesses qui ne dépassent pas 11,196m à l'heure, lorsque le rail extérieur est relevé de 0,0426 ; *mais que ce résultat doit être attribué à la seule élévation du* rail extérieur ; procédé depuis long-temps en usage dans les courbes, et qui ne tient pas essentiellement au système examiné.

Lorsque, dans le système actuel, avec une vitesse de...	4,000
Sur un cercle 100 fois plus grand.....	35,000
Parcouru au 1/100e de circonférence.....	
Une élévation d'un rail de....	0,75
Une charge d'un dixième.....	800 k

Un seul chariot, si l'on veut, ne pourrait pas parcourir quelques mètres de chemin de suite sans sortir de la voie, s'il n'y était pas retenu par un rebord à son rail extérieur.

Que penser maintenant de cette troisième ingénieuse conclusion ?

» 4°. Enfin que, bien que pendant les expériences la vitesse ait

s'en passer à la rigueur ; mais que la prudence le requérait pour prévenir tout accident, et qu'en cela c'était suivre le sage exemple des ingénieurs, qui établissent aussi, par prudence, des rampes aux ponts et des parapets aux quais.

Ainsi, passé cette vitesse de 11,196m. à l'heure, les chariots présenteraient du danger, suivant la Commission ; elle a cependant obtenu 17,064 m. malgré elle, il faut bien le dire, puisqu'elle n'a fait d'expériences au galop que les deux dernières expériences, lorsque les chevaux étaient très fatigués, et n'avaient rien pris depuis plus de huit heures d'intervalle.

Mais ce qui prouve combien est grande l'erreur de la Commission, c'est que le Comité des arts mécaniques de la Société d'Encouragement a obtenu 22,000 mètres sur le rail intérieur, ou 23,000 sur le rail extérieur sans rebord, et sans toucher latéralement celui intérieur ; et les expériences ont été répétées.

Mais si, comme l'avance la Commission, ce résultat n'était dû qu'à l'élévation de 0,426 du rail extérieur, elle devrait bien nous dire aussi comment, dans ce système, avec une vitesse de..... 23,000m.

Sur un cercle, au rayon de.....	34 m.
Parcouru en entier,	
Une élévation d'un rail de.....	0,0426
Une charge de.....	8,000 k.

Un équipage de 8 chariots a pu constamment se tenir dans la voie sans rebord extérieur.

En vérité, pour mettre au jour une pareille conclusion, il faut être bien